



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری



دستنامه فنی

ارزیابی کمی توان گونه‌های گیاهی بومی در مهار فرسایش (مطالعه موردی: جنوب استان اردبیل)

نویسنده:

رضا طلائی

شماره ثبت: ۶۹۶۷۰

۱۴۰۵

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دستنامه فنی:

ارزیابی کمی توان گونه‌های گیاهی بومی در مهار فرسایش (مطالعه موردی: جنوب استان
اردبیل)

نویسنده:

رضا طلائى

شماره ثبت: ۶۹۶۷۰

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

عنوان اثر: ارزیابی کمی توان گونه‌های گیاهی بومی در مهار فرسایش (مطالعه موردی: جنوب استان اردبیل)
نویسنده: رضا طلائی

ویراستار: سعید نبی‌پی لشکریان

صفحه آرا: عباس صدیق

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۵

این اثر در مورخه ۱۴۰۵/۰۵/۰۳ با شماره ۶۹۶۷۰ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر مأخذ بلامانع است.

پیشگفتار

فرسایش خاک به اشکال مختلف به‌ویژه پاشماني، شيارى، خندقى و توده‌اى يکى از معضلات مهم زيست‌محيطى در بسيارى از مناطق جهان است که تهديدى جدى براى اکوسيستم‌ها و زندگى انساني به شمار مى‌رود. در اين ميان، بسيارى از مناطق ايران به‌ويژه مناطقى با سازندهاى حساس به فرسايش و ويژگى‌هاى اقليمى خاص، آسيب‌پذيرى زيادى نسبت به اين پديده دارند. پديده فرسايش در اين مناطق نه‌تنها باعث کاهش حاصلخيزى خاک و تخریب پوشش گياهمى مى‌شود، بلکه بر جريان‌هاى آب و کاهش منابع آبى نيز اثرات منفى دارد.

يکى از مؤثرترين و مقرون به‌صرفه‌ترين روش‌ها براى مقابله با اين پديده، استفاده از روش‌هاى بيولوژيکى و بهره‌گيرى از پوشش گياهمى بومى هر منطقه است. پوشش گياهمى نه‌تنها با تثبيت خاک و کاهش سرعت جريان‌هاى آب و باد، بلکه با توانايى خاص خود در مقابله با فرسايش، مى‌تواند به‌عنوان راه‌حلى پايدار و مؤثر در مديريت منابع خاک و بازسازى اکوسيستم‌هاى آسيب‌ديده عمل کند. در اين راستا، پژوهش‌هاى مختلفى در زمينه بررسى توانمندى گياهان بومى در مهار فرسايش و نقش آن‌ها در بازسازى پوشش گياهمى مناطق آسيب‌ديده صورت گرفته است. اين دستنامه به‌منظور معرفى و ارزيابى روش‌هاى علمى نوين براى بررسى و انتخاب گونه‌هاى گياهمى مناسب جهت مهار فرسايش در اين مناطق تدوين شده است. پژوهش حاضر به‌طور جامع توانمندى‌هاى گياهان بومى در يک منطقه نمونه را از منظر ويژگى‌هاى مورفولوژيکى و کارکردى آن‌ها در مقابله با اشکال مختلف فرسايش از جمله شيارى و خندقى مورد مطالعه قرار داده و به معرفى پنج شاخص کليدى براى ارزيابى اين ويژگى‌ها پرداخته است. اين شاخص‌ها شامل تراکم ساقه، توانايى ريشه در کاهش فرسايش، ايجاد مانع در برابر رسوبات، سفتى گياه و چسبندگى ريشه هستند که به‌طور دقيق و کمى براى ۳۶ گونه گياهمى در منطقه جنوب استان اردبيل محاسبه و مورد ارزيابى قرار گرفته‌اند.

نتايج به‌دست‌آمده نشان مى‌دهند که ترکيب گونه‌هاى گياهمى با توانمندى‌هاى مختلف در يک پروژه بيولوژيک مى‌تواند اثربخشى بيشترى در مهار فرسايش و بازسازى پوشش گياهمى داشته باشد. مطالب اين دستنامه به‌عنوان يک راهنما براى تمام مناطق تحت فرسايش کشورمان با شرايط اقليمى متفاوت کاربرد دارد.

امید است که این پژوهش و نتایج به دست آمده از آن، به عنوان مرجعی علمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و اجرایی در زمینه مهار فرسایش خاک و بهبود وضعیت محیط‌زیست در تمام مناطق اقلیمی به کار گرفته شود و گامی مؤثر در راستای حفظ و احیای منابع طبیعی کشور برداشته شود.

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
چکیده	۱
۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- مروری بر منابع	۶
۱-۳- محدوده مطالعه موردی	۱۰
ویژگی‌های اقلیمی و زمین‌شناسی جنوب استان اردبیل	۱۱
۲-۳- روش‌های میدانی ارزیابی توان کاهش فرسایش گیاهان	۱۳
۱-۲-۳- پلات‌های فرسایش	۱۳
۱-۱-۲-۳- روش اجرای پلات‌های فرسایش	۱۴
۲-۱-۲-۳- شاخص‌های اندازه‌گیری در پلات‌های فرسایش	۱۵
۳-۱-۲-۳- کاربرد پلات‌های فرسایش	۱۵
۲-۲-۳- آزمایش باران مصنوعی	۱۵
۳-۲-۳- روش‌های ارزیابی اثر پوشش گیاهی بر فرسایش	۱۷
۱-۳-۲-۳- اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی	۱۸
۱-۱-۳-۲-۳- تعیین اندازه و تعداد پلات‌ها	۱۸
تعیین اندازه پلات	۱۹
تعیین تعداد پلات‌ها	۲۰
۲-۱-۳-۲-۳- استقرار پلات در عرصه	۲۱
۳-۱-۳-۲-۳- برآورد سطح پوشیده‌شده توسط گیاهان	۲۲
۴-۱-۳-۲-۳- محاسبه درصد پوشش گیاهی	۲۲
۵-۱-۳-۲-۳- تکرار اندازه‌گیری و میانگین‌گیری	۲۵
۶-۱-۳-۲-۳- تفسیر نتایج	۲۵
۲-۳-۲-۳- شاخص سطح برگ	۲۷
۳-۳-۲-۳- ارزیابی نقش ریشه گیاهان در کاهش فرسایش	۲۸
۱- ریشه‌های افشان یا فیبری	۲۹
۲- ریشه‌های راست یا اصلی	۳۰
۳- ریشه‌های خزنده	۳۰
۴- ریشه‌های مقاوم	۳۱
۵- ریشه‌های مورب	۳۲

- ۳۲ ۶- ریشه‌های ذخیره‌ای
- ۳۲ ۳-۲-۳-۱- آزمون‌های مقاومت مکانیکی ریشه
- ۳۳ ۳-۲-۳-۴- توانایی اندام‌های هوایی در مهار فرسایش
- ۳۳ ۳-۲-۳-۵- روش عکس‌برداری و سنجش از دور
- ۳۵ شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی
- ۳۶ شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌شده براساس خاک
- ۳۷ شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی
- ۳۸ ۳-۲-۴- مدل‌های کمی ارزیابی نقش گیاهان در کاهش فرسایش آبی
- ۳۸ ۳-۲-۴-۱- استفاده از عامل C در مدل‌های USLE / RUSLE
- ۳۹ ۳-۲-۴-۲- مدل فرآیندی پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی
- ۳۹ ۳-۲-۵- ارزیابی کمی توانایی کاهش فرسایش گونه‌های گیاهی براساس خصوصیات اندام‌های هوایی و زیرزمینی
- ۴۱ ۳-۲-۵-۱- مطالعات آزمایشگاهی و عملیات صحرائی
- ۴۱ ۳-۲-۵-۱-۱- انتخاب محل نمونه‌برداری از گیاه
- ۴۱ ۳-۲-۵-۱-۲- ارزیابی گونه‌ها و الگوی پراکنش گیاهان با استفاده از روش ترانسکت
- ۴۳ ۳-۲-۵-۲- ویژگی کلی گونه‌های انتخابی
- ۴۴ ۳-۲-۵-۳- معیارهای انتخاب یک گونه گیاهی برای مهار فرسایش
- ۴۴ ۳-۲-۵-۱- مقاومت بالا در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته
- ۴۷ ۳-۲-۵-۲- توانایی بالا برای پایدارسازی دامنه
- ۴۷ ۳-۲-۵-۳- آستانه خمیدگی بالا بر اثر جریان آب
- ۴۸ ۳-۲-۵-۴- توانایی به تله‌انداخت رسوبات و ذرات آلی
- ۴۸ ۳-۲-۵-۴- برآورد شاخص‌های پنج‌گانه
- ۴۸ ۳-۲-۵-۱- تراکم ساقه
- ۴۸ گیاهان بوته‌ای
- ۵۰ تراکم ساقه برای گندمیان (گراس‌ها)
- ۵۱ ۳-۲-۵-۴-۲- توانایی ایجاد مانع برای رسوب و ذرات آلی
- ۵۱ ۳-۲-۵-۴-۳- سفتی یا سختی گیاه
- ۵۳ ۳-۲-۵-۴-۴- توانایی کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته (RSD)
- ۵۴ ۳-۲-۵-۴-۵- توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها
- ۵۴ مقاومت کششی ریشه گیاهان
- ۵۶ اندازه‌گیری مقاومت کششی ریشه گیاهان

محاسبه مقاومت برشی خاک	۵۷
۳-۲-۵- امتیازبندی و ارزیابی مقادیر شاخص‌ها.....	۵۹
۳-۳- جمع‌بندی کاربردی روش‌ها، شاخص‌ها و مقیاس‌های ارزیابی	۶۰
۳-۴- نقش تفکیکی اجزای گیاه در کاهش فرسایش	۶۲
۴-۱- نتایج مطالعه موردی	۶۳
۴-۱-۱- پوشش گیاهی و تیپ‌های مرتعی منطقه	۶۳
تیپ کشاورزی- باغی	۶۵
۴-۱-۲- ویژگی‌های کلی گونه‌های گیاهی مهم در منطقه.....	۶۶
۴-۱-۳- توان کمی گونه‌های گیاهی در مهار فرسایش خاک	۷۱
۴-۱-۴- ارزیابی و مقایسه توان کاهش فرسایش گونه‌های گیاهی	۹۸
۴-۱-۵- خوشه‌بندی گیاهان منطقه	۱۰۲
۴-۱-۶- گروه‌بندی گونه‌ها براساس توانایی مهار فرسایش	۱۰۸
۵-۱- نتیجه‌گیری.....	۱۱۲
ملاحظات اخلاقی	۱۱۵
منابع و مآخذ	۱۱۶
Abstract.....	۱۳۰

فهرست شکل‌ها

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
شکل ۱-۳- موقعیت منطقه مطالعه موردی در جنوب استان اردبیل (طلائی و همکاران، ۱۳۹۹).....	۱۰
شکل ۲-۳- نمایی کلی از سنگ‌های رسوبی رسدار به سن نئوژن و شکل‌های مختلف فرسایش در منطقه (الف) شیاری، (ب) خندقی و (ج) حرکت دامنه‌ای.....	۱۳
شکل ۳-۳- نمونه‌ای از پلات‌های اندازه‌گیری فرسایش با پوشش گیاهی مختلف.....	۱۴
شکل ۴-۳- اندازه‌گیری رواناب و رسوب جمع‌آوری شده با استفاده از شیشه‌ساز باران یک مترمربعی.....	۱۶
شکل ۵-۳- تصویر یک پلات برای اندازه‌گیری درصد پوشش برخی گونه‌ها.....	۱۹
شکل ۶-۳- بخش‌های گیاهی واقع در تصویر عمودی پلات که در محاسبات در نظر گرفته می‌شود (Coulloudon و همکاران، ۱۹۹۹).....	۲۳
شکل ۷-۳- مقایسه تصویری (الف) تاج‌پوشش و (ب) پوشش شاخ و برگ (Coulloudon و همکاران، ۱۹۹۹؛ Nyberg و همکاران، ۲۰۱۳).....	۲۵
شکل ۸-۳- شکل‌های مهم ریشه گیاهان.....	۳۱
شکل ۹-۳- استقرار پلات یک مترمربعی و تهیه نمونه‌های هرباریومی.....	۴۲
شکل ۱۰-۳- فلوچارت صفات، شاخص‌ها و معیارهای لازم برای ارزیابی توانایی گیاهان در مهار فرسایش.....	۴۶
شکل ۱۱-۳- مراحل عملی اندازه‌گیری صفات گیاهان (گندمیان و بوته‌ای) و برآورد شاخص تراکم ساقه در آن‌ها.....	۴۹
شکل ۱۲-۳- دستگاه اندازه‌گیری میزان خمیدگی ساقه.....	۵۲
شکل ۱۳-۳- شستشو و آماده‌سازی گونه‌های گیاهی برای اندازه‌گیری صفات گیاهی.....	۵۵
شکل ۱۴-۳- دو نوع دستگاه اندازه‌گیری مقاومت کششی ریشه.....	۵۶
شکل ۱۵-۳- نمودار ستارهای نمونه برای مقایسه شاخص‌های محاسبه‌شده برای گونه‌های مختلف.....	۶۰
شکل ۱-۴- نقشه اختصاصی برای اراضی مرتعی و تیپ‌های مختلف مرتعی در منطقه.....	۶۳
شکل ۲-۴- نمودارهای ستارهای نشان دهنده توانایی ۳۶ گونه گیاهی بومی منطقه در مهار فرسایش.....	۱۰۱
شکل ۳-۴- نمودار درختی گروه‌بندی گونه‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه به روش Ward.....	۱۰۳
(فاصله گونه‌های گیاهی با استفاده از تابع مربع فاصله اقلیدوسی محاسبه شد).....	۱۰۳
شکل ۴-۴- مقایسه توانایی اندام‌های هوای و زیرزمینی گیاهان بومی منطقه در مهار فرسایش.....	۱۰۸

فهرست جدول‌ها

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
جدول ۱-۳- مقایسه ویژگی‌ها و کاربردهای پوشش برگی و تاج‌پوشش (Coulloudon و همکاران، ۱۹۹۹؛ Nyberg و همکاران، ۲۰۱۳؛ Pellant و همکاران، ۲۰۲۰).....	۲۵
جدول ۲-۳- محدوده تغییرات مقادیر شاخص‌ها و امتیازات مربوطه (De Baets و همکاران، ۲۰۰۹).....	۵۹
جدول ۳-۳- جمع‌بندی روش‌ها و شاخص‌های ارزیابی فرسایش خاک و نقش پوشش گیاهی.....	۶۰
جدول ۴-۳- سهم کمی اجزای گیاه در کاهش رواناب و فرسایش خاک.....	۶۲
جدول ۱-۴- تیپ‌های مختلف مرتعی در منطقه مورد مطالعه.....	۶۳
جدول ۲-۴- مقادیر و امتیازات برآوردشده برای شاخص‌های پنج‌گانه ۳۶ گونه گیاه بومی مهم در منطقه به‌منظور ارزیابی توانایی گیاه در مهار فرسایش شیار و خندقی.....	۹۱
جدول ۳-۴- گونه‌های گیاهی منطقه براساس امتیاز شاخص‌ها در ۱۰ خوشه قرار گرفته‌اند.....	۱۰۴
جدول ۴-۴- امتیازات مربوط به توانایی گیاهان منطقه در مهار فرسایش براساس چهار معیار.....	۱۱۰
جدول پیوست ۱- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش در تیپ بروموس - شیرخشت.....	۱۳۳
جدول پیوست ۲- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش در تیپ مرتعی درمنه - استپا.....	۱۳۷
جدول پیوست ۳- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش در تیپ مرتعی فستوکا - درمنه.....	۱۴۴
جدول پیوست ۴- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش در تیپ مرتعی گون - فستوکا.....	۱۴۶
جدول پیوست ۵- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش که در تمام تیپ‌های مرتعی منطقه پراکنش نشان می‌دهند.....	۱۴۸

چکیده

فرسایش خاک در بسیاری از مناطق کشور به دلیل عوامل مختلف، به ویژه در اراضی با پوشش گیاهی ضعیف، مشکلی جدی است که تحقیقات کمی در زمینه تأثیر ترکیبی اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان در مهار آن انجام شده است. در دستنامه حاضر با معرفی روش‌های مختلف برای تعیین توانایی گیاهان در مهار فرسایش، یک روش ویژه معرفی شده و کاربرد آن برای ۳۶ گونه گیاهی در منطقه جنوب استان اردبیل با اقلیم خشک سرد ارائه شده است. در این روش صفات گونه‌های گیاهی در مهار فرسایش براساس یک روش چند معیاری کمی شده است. در ابتدا پنج شاخص برای ۳۶ گیاه بومی در منطقه محاسبه شد. این شاخص‌ها شامل توانایی ریشه در افزایش پایداری دیواره‌ها (C_r) بر پایه سطح مقطع ریشه‌ها (A_{rt})، تنش کششی ریشه (T_r)، نیروی شکست (F_{max}) و قطر ریشه (D)؛ شاخص توانایی کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته توسط ریشه گیاه (RSD) با استفاده از تراکم ریشه (RD) و جرم خشک ریشه (M_D)؛ شاخص درجه مقاومت گیاه در مقابل خمیدگی بوسیله جریان آب به صورت سفتی یا سختی ساقه گیاه (MEI) مبتنی بر مدول الاستیسیته (E_{mod})، ممان دوم اینرسی ساقه (I) و قطر ساقه (d_s)؛ شاخص تراکم ساقه، میزان مقاومت گیاه در برابر نیروی برشی جریان آبی (SD) براساس تعداد ساقه‌ها در واحد سطح (n_s) و ویژگی‌های هندسی ساقه‌ها؛ و در نهایت شاخص توانایی ایجاد مانع در مقابل جریان رسوب (SOP) براساس مساحت تصویر قائم اندام هوایی (A_r)، طول اشغال شده ساقه‌ها عمود بر جریان (L_b) و بیشینه گسترش اندام هوایی گیاه (L_{tot}) بودند. این شاخص‌ها به صورت تلفیقی برای ارزیابی توان گیاهان در افزایش مقاومت خاک و مهار فرسایش مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج آماری نشان داد میانگین $\pm$ انحراف معیار شاخص‌ها به ترتیب برابر با 0.055 ± 0.017 برای SD ، 0.02 ± 0.0127 برای SOP ، 0.048 ± 0.05 برای MEI ، 0.677 ± 0.343 برای RSD و 0.8 ± 0.54 برای Cr بود که بیانگر تنوع قابل توجه عملکرد حفاظتی گونه‌های گیاهی در مهار فرسایش و پایداری خاک است. مقادیر هر شاخص در پنج رده طبقه‌بندی شد (۰ تا ۴ درجه) و نمودارهای ستاره‌ای براساس امتیازات اختصاص یافته به شاخص پنج‌گانه ترسیم شد. امتیازات بالا (۳= بالا و ۴= بسیار بالا) نشان‌دهنده توانایی بالای گیاه در مهار فرسایش شیار و خندقی است. مقادیر تراکم ساقه (SD) بین ۰/۲۶ تا ۲۸ درصد تغییر می‌کند. دو گونه کلاه

میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.) و علف بره (*Festuca ovina* L.) بیشترین تراکم ساقه‌ای را داشتند. این گونه‌های گیاهی کوچک در فصل بهار و تابستان پوشش خوبی روی زمین ایجاد می‌کنند. مقادیر توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP) بین ۰/۰۰۱۲۸ تا ۰/۹۸۸ متر بر متر است. پنج گونه گیاهی گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، علف بره (*Festuca ovina* L.) و ملیکای بلند (*Melica altissima* L.) دارای بیشینه توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب بودند. نتایج محاسبات شاخص سفتی گیاه (MEI) نشان داد گونه‌های دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، گز (*Tamarix ramosissima*)، علف شور (*Salsola kali* L.) و سماق (*Rhus coriaria*) مقاومت خمشی زیادی در مقابل نیروی برشی دارند (۵/۱۹ - ۳۴/۶۲۶ نیوتن). گیاهانی مانند بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza aspera* Pall.) و زلف پیر دائمی (*Stipa pennata* L.) با مقادیر $۱۰^{-۲۴}$ تا $۱۰^{-۴۲}$ برای شاخص RSD توانایی بالایی در کاهش فرسایش در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته دارند. استفاده از ترکیب گونه‌های بومی سازگار می‌تواند راهکاری مؤثر و پایدار در مهار فرسایش باشد. گونه‌های درختچه‌ای شامل سماق (*Rhus coriaria*)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss.) و گز (*Tamarix ramosissima*) به دلیل ریشه‌های عمیق و متراکم نقش مهمی در پایداری دامنه‌ها و مهار فرسایش شیاری و خندقی دارند. همچنین گونه‌های علفی نظیر علف شور یا شورخاردار (*Salsola kali* L.)، علف بره (*Festuca ovina* L.)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، ملیکای بلند (*Melica altissima* L.) و کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.) با ایجاد پوشش سطحی مناسب، کاهش سرعت رواناب و افزایش چسبندگی خاک، کارایی بالایی در کاهش فرسایش نشان دارند. نتایج بیانگر آن است که کاشت ترکیبی گونه‌های بومی با توسعه همزمان اندام‌های هوایی و ریشه‌ای، مؤثرترین راهکار زیست‌مهندسی برای احیای اراضی تخریب‌یافته و کاهش فرسایش است.

واژه‌های کلیدی: اندام‌های هوایی گیاهان، خندق، ریشه گیاهان، زیست‌مهندسی، شاخص‌ها و مهار فرسایش.

۱-۱- مقدمه

فرسایش خاک با وجود دهه‌ها پژوهش و تلاش‌های مدیریتی، همچنان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدهای زیست‌محیطی در مقیاس جهانی مطرح است (Avand و همکاران، ۲۰۱۹؛ FAO، ۲۰۱۹). این پدیده از طریق حذف لایه سطحی خاک و انتقال ذرات حاصلخیز، موجب کاهش عناصر غذایی، افت بهره‌وری اراضی، افزایش رسوب‌گذاری در مخازن سدها، تخریب پوشش گیاهی، تشدید سیلاب‌ها و آلودگی خاک می‌شود (Jakab و همکاران، ۲۰۱۲؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۷؛ Allen و همکاران، ۲۰۱۸؛ Ul Zaman و همکاران، ۲۰۱۸؛ Dumbrovský و همکاران، ۲۰۲۰). اگرچه فرسایش فرآیندی طبیعی در تکامل زمین است، اما در بسیاری از مناطق حساس از نظر زمین‌شناسی و اقلیمی، تحت تأثیر بهره‌برداری‌های انسانی و برهم‌خوردن تعادل اکولوژیکی، شدت آن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (Borrelli و همکاران، ۲۰۱۸؛ Panagos و Katsoyiannis، ۲۰۱۹؛ Vijith و Dodge-Wan، ۲۰۱۹).

در میان راهکارهای موجود، مهار فرسایش از طریق روش‌های سازه‌ای و زیستی امکان‌پذیر است؛ بااین‌حال، شواهد نشان می‌دهد که افزایش مقاومت خاک از طریق احیای پوشش گیاهی یکی از مؤثرترین و پایدارترین رویکردها محسوب می‌شود (Ogunlela و Mekanjuola، ۲۰۰۰؛ Dahanayake و همکاران، ۲۰۲۴؛ Majhi و همکاران، ۲۰۲۵). در همین راستا، استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان یک راهبرد کلیدی در حفاظت خاک و کاهش شدت فرسایش مورد توجه گسترده پژوهشگران قرار گرفته است (De Baets و همکاران، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷a و ۲۰۰۷b؛ Zuazo و Pleguezuelo، ۲۰۰۸؛ Molina و همکاران، ۲۰۰۹؛ Dong و همکاران، ۲۰۱۴؛ Gomide و همکاران، ۲۰۱۴؛ Liu و همکاران، ۲۰۱۹؛ Li و همکاران، ۲۰۲۱؛ Wu و همکاران، ۲۰۲۴؛ Mirzaee و همکاران، ۲۰۲۵؛ Singh و همکاران، ۲۰۲۵).

مطالعات تجربی نشان داده‌اند که افزایش پوشش گیاهی از ۲۰ به ۶۰ درصد می‌تواند فرسایش آبی را بیش از ۷۰ درصد کاهش دهد (Gyssels و همکاران، ۲۰۰۵)، زیرا پوشش گیاهی با ایجاد مانع در برابر بارش، افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش رواناب سطحی و تثبیت ذرات خاک توسط ریشه‌ها نقش اساسی در مهار فرسایش دارد (Bochet و همکاران، ۲۰۰۶؛ Flanagan و همکاران، ۲۰۱۳؛ Katuwal و همکاران، ۲۰۱۳؛ De Baets و همکاران، ۲۰۱۳).

همکاران، ۲۰۱۴). در این میان، نقش ریشه گیاهان در مهار فرسایش‌های شدید به‌ویژه فرسایش شیاری و خندقی بسیار برجسته است (Reubens و همکاران، ۲۰۰۸؛ Mwango و همکاران، ۲۰۱۴) و تراکم ریشه گیاهان علفی به‌طور خاص در جلوگیری از گسترش خندق‌ها اهمیت بالایی دارد (De Baets و همکاران، ۲۰۰۹؛ Guo و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین گزارش شده است که با توسعه فرسایش از پاشمانی به اشکال پیشرفته‌تر، نقش اصلی در مهار رواناب از اندام‌های هوایی به سامانه ریشه‌ای گیاهان منتقل می‌شود (Liu و همکاران، ۲۰۱۸). از سوی دیگر، متخصصان بر استفاده از گونه‌های بومی به‌عنوان مؤثرترین راهبرد احیای پوشش گیاهی در اراضی فرسایش‌یافته تأکید دارند (Kou و همکاران، ۲۰۱۶)، زیرا انتخاب گونه‌های مناسب و مدیریت اصولی پوشش گیاهی می‌تواند با بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش توسعه ریشه‌ای، شدت فرسایش را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد (Adekalu و همکاران، ۲۰۰۶). مزایای روش‌های بیولوژیکی نسبت به روش‌های سازه‌ای شامل توانایی مهار طیف وسیعی از اشکال فرسایش، هزینه پایین‌تر، پایداری بلندمدت، قابلیت تکثیر طبیعی گونه‌های بومی و اثرات اکولوژیکی مثبت مانند افزایش تولید علوفه و گیاهان دارویی است (Mukai، ۲۰۱۶؛ Vanmaercke و همکاران، ۲۰۱۶؛ Ihuoma و همکاران، ۲۰۱۷). بااین‌حال، کارایی این روش‌ها به‌شدت به مورفولوژی گیاهان وابسته است و تفاوت در ساختار تاج‌پوشش گیاه^۱ و ریشه‌ها موجب تفاوت در توانایی مهار فرسایش می‌شود (Bochet و همکاران، ۲۰۰۶؛ Xu و همکاران، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹؛ Liu و همکاران، ۲۰۱۸؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۶؛ Zhang و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، شناسایی نقش اختصاصی هر گونه در مهار رواناب و فرسایش به‌ویژه در محیط‌های نیمه‌خشک اهمیت اساسی دارد (Bochet و همکاران، ۲۰۰۶؛ Fu و همکاران، ۲۰۰۹).

در استان اردبیل طی دهه‌های اخیر، عوامل متعددی همچون خشکسالی‌های مکرر، چرای بی‌رویه، سوزاندن بقایا و مصرف ناکافی نهاده‌ها و تغییر کاربری‌های اراضی موجب تشدید فرسایش در اراضی شده‌اند (Talaie و همکاران، ۲۰۱۱؛ رستمی و مریدی، ۱۴۰۳). هم‌زمان، فشار بر مراتع به‌علت افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به علوفه، منجر به کاهش ظرفیت تولیدی و تخریب پوشش گیاهی شده است (طلائی و همکاران، ۱۴۰۴). یکی

^۱ Canopy cover

از رویکردهای پیشنهادی، توسعه کشت گیاهان بومی منطقه برای کاهش فرسایش و افزایش تاب‌آوری است. انتخاب نوع گونه‌های گیاهی مناسب یکی از چالش‌های اصلی در این منطقه و سایر نقاط کشور است.

با وجود مطالعات گسترده، همچنان کمبود روش‌های کمی و میدانی برای ارزیابی همزمان نقش اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان در مهار فرسایش در شرایط اقلیمی مختلف وجود دارد (De Baets و همکاران، ۲۰۰۹؛ Farhadi و همکاران، ۲۰۱۸). براین اساس، هدف این پژوهش ارائه یک چارچوب کمی و گام‌به‌گام برای ارزیابی عملکرد حفاظتی گونه‌های گیاهی بومی در مهار فرسایش خاک است. در این رویکرد، نقش همزمان اندام‌های هوایی و ریشه‌ای در قالب پنج شاخص شامل تراکم ساقه‌ای^۱ (SD)، تراکم ریشه‌ای گیاه^۲ (RSD)، توانایی ایجاد مانع در برابر مواد معلق^۳ (SOP)، سفتی گیاه^۴ (MEI) و چسبندگی ریشه^۵ (Cr) مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرض پژوهش براین اساس است که توانایی مهار فرسایش تابعی از تعامل ساختاری بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه بوده و گونه‌های بومی به دلیل سازگاری اکولوژیکی بیشتر، کارایی بالاتری در تثبیت خاک دارند. در نهایت، این رویکرد علاوه بر ارائه یک چارچوب علمی برای تحلیل عملکرد گیاهان، می‌تواند به عنوان مبنایی کاربردی برای انتخاب گونه‌های مناسب در پروژه‌های احیای اراضی و مدیریت پایدار منابع خاک مورد استفاده قرار گیرد.

1 Stem density

2 Relative soil detachment

3 Sediment obstruction potential

4 Index of stiffness

5 Root reinforcement effect

۲-۱- مروری بر منابع

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی جهانی است که اثرات منفی بر محیط‌های طبیعی و انسانی دارد (Zia و همکاران، ۲۰۲۵). یکی از رویکردهای مؤثر در کاهش فرسایش، استفاده از پوشش گیاهی است (Dahanayake و همکاران، ۲۰۲۴). فرسایش خاک می‌تواند از طریق احیای پوشش گیاهی و اجرای روش‌های مبتنی بر جنگل‌داری-کشاورزی کاهش یابد، که موجب ارتقای عملکرد اکوسیستم، جذب کربن و افزایش بهره‌وری برای جوامع محلی می‌شود (Majhi و همکاران، ۲۰۲۵).

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که پوشش گیاهی نقش کلیدی در مهار اشکال مختلف فرسایش دارد. به عنوان مثال، شاهین (۱۳۸۴) در گلستان مشاهده کرد که قرق پوشش گیاهی باعث کاهش رشد خندق‌ها می‌شود. در منطقه سرچم زنجان، گسترش خندق‌ها با ویژگی‌های خاک، شدت بارش، نوع سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی و نوع پوشش گیاهی مرتبط است (قدوسی، ۱۳۷۳). دولت خواهی (۱۳۸۰) نشان داد که تاج پوشش گیاهی و شیب بیشترین تأثیر را بر تولید رسوب دارند و مواد آلی نیز نقش معناداری در فرسایش خندقی دارند. نتایج تحقیقات نشان داده‌اند که کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی عامل اصلی تشدید فرسایش است (Snelder و Bryan، ۱۹۹۵؛ Morgan و همکاران، ۱۹۹۷؛ Cerdà، ۱۹۹۹). تراکم پوشش گیاهی با کاهش رواناب سطحی و افزایش نفوذپذیری خاک، شدت فرسایش را کاهش می‌دهد (ثروتی و همکاران، ۱۳۸۷). پوشش گیاهی از برخورد مستقیم باران جلوگیری کرده و جریان سطحی آب را به جریان زیرسطحی تبدیل می‌کند و عدم وجود پوشش مناسب، فرسایش سطحی، شیاری و خندقی را تشدید می‌کند (پورنصرالله و علیدوست، ۱۳۸۴). توسعه شهری و تخریب پوشش گیاهی در جنوب فارس، ۷۸ درصد تغییرات مساحت خندق‌ها را توضیح می‌دهد (صوفی، ۱۳۸۴). نتایج مطالعات در استرالیا نیز کاهش پوشش گیاهی کف دره‌ها را عامل افزایش حساسیت و ایجاد شکاف در بستر خندق‌ها نشان داده‌اند (Slade و Prosser، ۱۹۹۴).

در مناطق دشتیاری ایران، سیلاب‌های شدید باعث تغییرات مورفولوژیکی خندق‌ها می‌شوند؛ پوشش گیاهی با به دام انداختن رسوبات و تثبیت خاک فرسایش را کاهش می‌دهد، و هرچه فاصله از درختان بیشتر شود، اثر حفاظتی کمتر می‌شود (Mirzaee و همکاران، ۲۰۲۵). باید در نظر داشت که گاهی تأثیر پوشش گیاهی بر

تشکیل و توسعه اشکال فرسایش پیچیده است. مطالعات Xu و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهند که بارش‌های شدید و ناگهانی حتی در مناطق با پوشش گیاهی بالا می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر فرسایش خاک و پایداری شیب‌ها داشته باشند. نتایج به دست آمده از این پژوهش در فلات لسی چین نشان داده است که احیای پوشش گیاهی می‌تواند نوع فرسایش را در دامنه‌ها تغییر دهد؛ به گونه‌ای که با کاهش فرسایش خندقی، خطر وقوع زمین‌لغزش‌های سطحی افزایش می‌یابد، زیرا جریان رواناب از حالت سطحی به جریان زیرسطحی تغییر می‌کند. مطالعات میدانی با شدت بارش‌های مصنوعی ۶۰ میلی‌متر در ساعت و بارش تجمعی ۲۷۰ میلی‌متر نشان دادند که پوشش گیاهی ۷۰-۸۰ درصد بیشترین اثر حفاظتی را بر فرسایش خاک و مهار خندق‌ها دارد، در حالی که پوشش بیش از ۹۰ درصد باعث ایجاد جریان زیرسطحی و افزایش خطر جابجایی در زمین‌لغزش‌ها می‌شود. این یافته‌ها نشان‌دهنده رابطه پیچیده بین پوشش گیاهی، فرسایش خندقی و زمین‌لغزش‌های سطحی در مناطق حساس از نظر اکولوژیکی است و بر اهمیت مدیریت پوشش گیاهی در کاهش اثرات مخرب بارش شدید تأکید دارد (Xu و همکاران، ۲۰۲۴).

در چین، پروژه‌های احیای پوشش گیاهی مانند دانه برای سبز^۱ نشان دادند که کاهش پوشش گیاهی و تغییر کاربری زمین فرسایش خندقی را افزایش می‌دهند (Li و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج پژوهش‌ها در مناطق مدیترانه‌ای اسپانیا با ترکیب سنگ مارن نشان می‌دهد که در اراضی بدون پوشش گیاهی میزان فرسایش ۴/۲۹ برابر و حجم رواناب ۲/۵۹ برابر نسبت به اراضی با پوشش گیاهی افزایش نشان می‌دهد (Andreu و همکاران، ۱۹۹۵). پوشش گیاهی علفی و بوته‌ای، ته‌نشینی رسوبات را افزایش داده و رسوبدهی حوضه را تا ۲۵ درصد کاهش می‌دهد (Molina و همکاران، ۲۰۰۹).

اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان در مقیاس‌های مختلف، از فرسایش پاشمانی تا خندقی تأثیر دارند (Liu و همکاران، ۲۰۱۸). ریشه گیاهان نقش مهمی در کاهش فرسایش دارند؛ اندام‌های هوایی نقش ثانویه دارند و ریشه‌ها با افزایش چسبندگی خاک و مقاومت برشی، فرسایش را مهار می‌کنند (Gyssels و همکاران، ۲۰۰۵). ریشه‌ها می‌توانند بیش از ۵۰ درصد از رسوب تولید شده را کاهش دهند (Niu و همکاران، ۲۰۲۵).

^۱ Grain for Green

مطالعات در مناطق مدیترانه‌ای نشان داده‌اند که ویژگی‌های ریشه و تراکم آن، توانایی گیاهان را در کاهش فرسایش شیلی و خندقی تعیین می‌کند (De Baets و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹). نتایج برخی مطالعات در گونه‌های بومی در تانزانیا و ایران نشان می‌دهد گونه‌های بومی با تراکم ریشه بالا بیشترین اثر حفاظتی را دارند (Mwango و همکاران، ۲۰۱۴؛ Farhadi و همکاران، ۲۰۱۸). تراکم و ویژگی‌های ریشه گیاهان علفی در چین باعث کاهش ۴۵ تا ۶۸ درصدی تلفات خاک و حجم خاک از دست رفته می‌شود (Guo و همکاران، ۲۰۱۹).

اندام‌های هوایی گیاهان، با کاهش سرعت باد و جریان سطحی و ایجاد پوشش، نقش تکمیلی دارند (شریعت‌جعفری و همکاران، ۱۳۹۳؛ اکرامیان و همکاران، ۲۰۱۸). گونه‌های خاصی مانند اکلیل کوهی یا رزماری (*Rosmarinus officinalis*) و علف اسپارتو (*Stipa tenacissima*) به دلیل ساختار اندام هوایی و ریشه‌ای میزان فرسایش و رواناب را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهند (Bochet و همکاران، ۲۰۰۶). پوشش گیاهی و ویژگی‌های ساختاری آن نقش تعیین‌کننده‌ای در مهار رواناب و رسوب در حوزه‌های آبخیز دارند. نتایج نشان می‌دهد که تعامل میان لایه‌های مختلف پوشش گیاهی شامل علفی، درختچه‌ای و تاج‌پوشش، به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر ویژگی‌های خاک و در نهایت بر تولید رواناب و رسوب اثرگذار است. در این میان، ویژگی‌های تاج‌پوشش مهم‌ترین عامل مهار رواناب و رسوب بوده و شاخص اختلاف ارتفاع بین لایه‌های پوشش گیاهی بیشترین اهمیت را در میان متغیرهای ساختاری نشان داده است. همچنین چگالی ظاهری و ظرفیت مزرعه‌ای خاک از مهم‌ترین عوامل خاکی مؤثر بر فرسایش شناسایی شدند. در مجموع، نتایج بر نقش غالب ساختار تاج‌پوشش در مهار فرسایش تأکید دارد و بر لزوم استفاده از گونه‌های مؤثر در تثبیت پوشش گیاهی برای کاهش فرسایش خاک دلالت می‌کند (Duan و همکاران، ۲۰۲۴).

عملیات زیست‌مهندسی و احیای مراتع، کاهش فرسایش و بهبود هیدرولوژی را امکان‌پذیر می‌کند (Mitsch و Jørgensen، ۲۰۰۳؛ Odum و Odum، ۲۰۰۳؛ Mickovski و van Beek، ۲۰۰۹). مراتع احیاءشده در فلات چین-تبت، کاهش در شدت فرسایش و بهبود هیدرولوژی محلی را نشان داده‌اند (Shang و همکاران، ۲۰۰۸؛ Ma و همکاران، ۲۰۲۳). تجربیات مهار فرسایش با احیای پوشش گیاهی در خاک‌های لسی چین نشان می‌دهد پوشش گیاهی طبیعی مؤثرتر از پوشش مصنوعی است و توالی گیاهی مناسب، مهار فرسایش را بهبود می‌دهد.

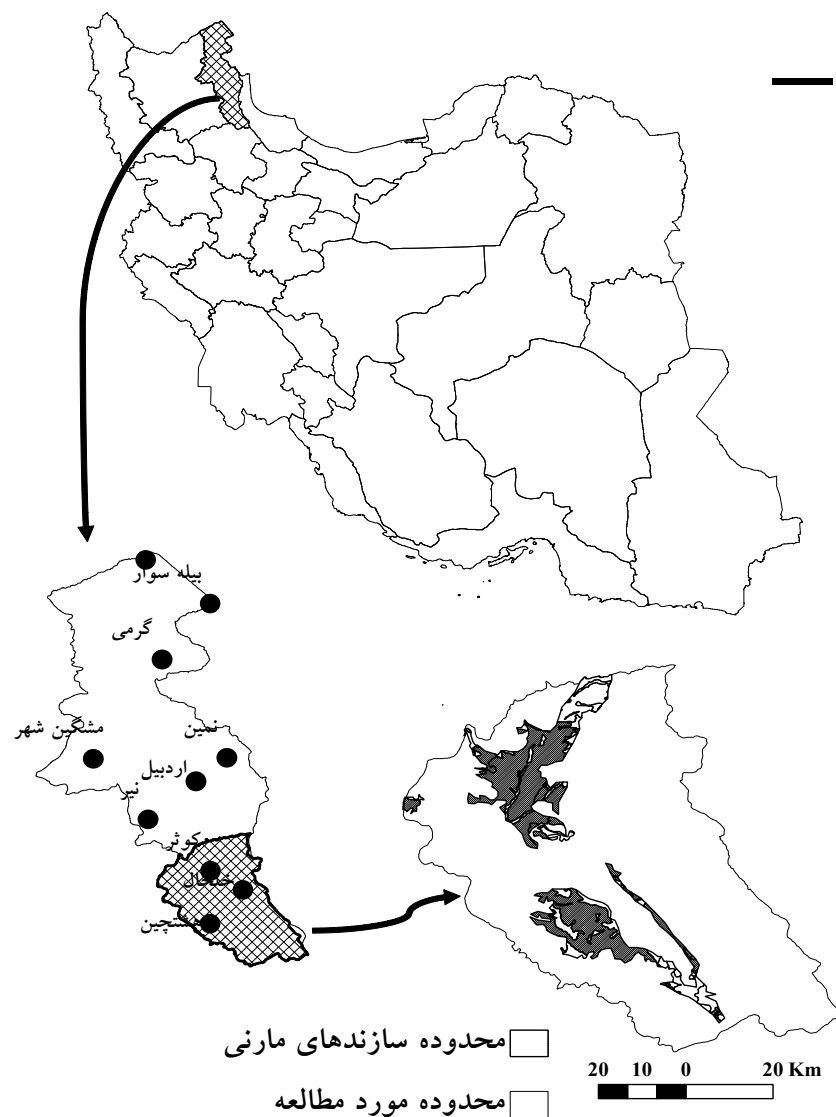
(Kou و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر نوع گیاهان نحوه کاشت آنها نیز در مهار فرسایش بسیار مهم است به طوری که کاشت گیاهانی مانند درمنه نازک برگ یا درمنه مویی (*Artemisia capillaris*) به صورت نواری، سرعت جریان سطحی را ۱۴ تا ۶۰ درصد کاهش می دهند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۲).

با وجود انجام مطالعات گسترده در دهه های اخیر، در ایران پیرامون نقش پوشش گیاهی در کاهش شدت فرسایش خاک، از جمله مهار فرآیندهای فرسایش سطحی، شیاری و خندقی هنوز روش های عملی و قابل اجرای مبتنی بر روش های اندازه گیری های میدانی و آزمایشگاهی برای تعیین و ارزیابی توانایی گونه های گیاهی محدود است. مطالعات پیشین عمدتاً بر مبنای تحلیل های نظری یا مدل سازی های کمی صورت گرفته اند و اطلاعات کافی درباره مکانیسم های دقیق مهار فرسایش توسط اندام های مختلف گیاهی، به ویژه سامانه ریشه ای، در شرایط واقعی خاک و اقلیم کشور در دسترس نیست.

این پژوهش با معرفی یک رویکرد کمی و یکپارچه برای سنجش توانایی گونه های گیاهی در مهار فرسایش خاک، امکان ارزیابی عملکرد حفاظتی گیاهان را در سطح اندام های هوایی و زیرزمینی فراهم می کند. در این روش، تأثیر شاخص های مربوط به بخش های هوایی و زیرزمینی گیاه به صورت توأم مورد ارزیابی قرار گرفته و چارچوبی علمی برای مقایسه گونه های مختلف با توجه به توانمندی های حفاظتی واقعی آنها در برابر جریان های آب سطحی ارائه می شود.

۳-۱- محدوده مطالعه موردی

استان اردبیل در شمال غرب ایران با مساحتی بالغ بر ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع حدود ۱/۰۹ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. زیر حوضه‌های قزل اوزن - آراچای در جنوب استان با وسعت ۳۵۳۷ کیلومترمربع در بین ۰۱' ۴۸° تا ۵۵' ۴۸° طول شرقی و ۰۵' ۳۷° تا ۵۷' ۳۷° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- موقعیت منطقه مطالعه موردی در جنوب استان اردبیل (طلائی و همکاران، ۱۳۹۹)

ویژگی‌های اقلیمی و زمین‌شناسی جنوب استان اردبیل

منطقه مورد مطالعه در جنوب استان اردبیل و در محدوده ایستگاه‌های هواشناسی خلخال و فیروزآباد (کوثر) قرار دارد. ویژگی‌های اقلیمی منطقه براساس داده‌های این ایستگاه‌ها در یک دوره آماری بلندمدت ۲۰ ساله (۱۹۸۲-۲۰۰۵ میلادی؛ ۱۳۶۱-۱۳۸۴ شمسی) استخراج و تحلیل شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل، ۱۳۸۶؛ همتی و همکاران، ۱۳۸۶).

ایستگاه خلخال دارای اقلیم مدیترانه‌ای سرد با زمستان‌های بسیار سرد و تابستان‌های معتدل است. میانگین دمای سالانه این ایستگاه بین ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد است و نوسان دمایی آن از ۵- تا ۱۰- درجه سانتی‌گراد در زمستان تا ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد در تابستان متغیر است. در ایستگاه فیروزآباد، دمای سالانه کمی بالاتر و حدود ۱۰ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. بارندگی در این منطقه عمدتاً تحت تأثیر سامانه‌های غربی و رطوبت دریای خزر قرار دارد و بیشتر در فصول پاییز و زمستان رخ می‌دهد. میانگین بارندگی سالانه در خلخال بین ۴۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر و در فیروزآباد بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر است. بخش زیادی از این بارش‌ها به صورت برف است که تأثیر زیادی بر تغذیه منابع آب و فرآیندهای ژئومورفولوژیک دارد.

بیشترین رطوبت نسبی در دی‌ماه (۷۹ درصد) و کمترین آن در خردادماه (۴۴ درصد) ثبت شده است. روزهای ابری در این منطقه حدود ۷۲ روز در سال است، در حالی که روزهای صاف و کمی ابری حدود ۱۷۳ روز و روزهای نیمه‌ابری حدود ۱۱۹ روز به‌طور میانگین گزارش شده‌اند. میزان تبخیر سالانه در جنوب استان اردبیل بین ۱۳۲۲ تا ۱۷۲۲ میلی‌متر است، با بیشترین مقدار در تابستان و کمترین در زمستان. ۸۲ درصد تبخیر سالانه در بهار و تابستان رخ می‌دهد.

سرعت باد در این منطقه حدود ۱/۲ متر بر ثانیه است. باد غالب از شرق با فراوانی ۱۷/۸ درصد بوده و بادهای غربی با ۱۱ درصد در رتبه دوم قرار دارند. بادهای خزری سرد و مرطوب و بادهای گرم جنوبی تأثیرات زیادی بر تغییرات رطوبتی و تبخیری دارند.

به‌طور کلی اقلیم منطقه سرد کوهستانی با زمستان‌های طولانی و سرد، تابستان‌های معتدل، بارندگی نسبتاً مناسب، تبخیر بالا در فصل گرم و نوسانات دمایی قابل توجه است. این ویژگی‌ها تأثیر مستقیم بر فرآیندهای

فرسایش خاک، پایداری دامنه‌ها و رخداد زمین‌لغزش‌ها در این ناحیه دارند. از دیدگاه استراتیگرافی واحدهای سنگی منطقه را می‌توان به دو بخش مجزا تقسیم کرد:

– سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن

– سنگ‌های رسوبی و توده‌های نفوذی نئوژن

در حوضه رسوبی منطقه که به‌طور نواری از شمال غرب به جنوب شرق کشیده شده، رسوبات قرمزرنجی شامل کنگلومرا، رسوبات تخریبی دانه‌ریز، لایه‌های ژئوپس‌دار وجود دارند که بنام رسوبات نئوژن معروف هستند. این رسوبات که گاهی تا ۳۰۰۰ متر نیز ضخامت دارند، روی گدازه‌های ائوسن به‌طور دگرشیب قرار می‌گیرند. در حقیقت این رسوبات گودال‌های تکتونیکی را که از شمال تا جنوب حوضه قرار دارد را پر کرده است. ترکیب اصلی این لایه‌ها مارن، ماسه سنگ و سیلت سنگ رس‌دار با لایه‌های گچی است (Davies و همکاران، ۱۹۷۲؛ خدابنده و امینی فضل، ۱۳۷۶؛ حاجی‌علیلو و رضائی، ۱۳۷۸؛ فریدی و انوری، ۱۳۸۵). سنگ‌ها و رسوبات مارنی فرسایش پذیری بالایی دارند. بهترین گواه فرسایش‌پذیری سازندهای مارنی در ایران وجود اشکال مختلف فرسایشی در آن است و سالانه رسوب زیادی را نیز تولید می‌کنند. لذا استفاده از کلمه مارن در حقیقت اشاره به مواد سست‌شده روی سازندهای مارنی دارد که از هوازدگی سنگ‌های نرم مارنی به‌وجود آمده‌اند و به‌عنوان خاک فرسایش‌پذیر شناخته می‌شوند. مساحت این منطقه ۶۱۲/۷۷ کیلومترمربع است که اشکال مختلف فرسایشی در سطح آن مشاهده می‌شود (طلائی و همکاران، ۱۳۹۹) (شکل ۳-۲). پس از حرکات شدید کرتاسه پایانی، چین‌خوردگی رسوبات آهکی و پسروری دریا در منطقه اتفاق افتاده و متعاقب آن رسوبات کنگلومرای در پایه پالتوسن و تهنشست رسوبات آهکی با ادامه پیشروی دریا صورت گرفته است؛ و با ادامه این حرکات تکتونیکی در ائوسن، آتشفشان‌هایی که بیشتر زیر آب‌های کم عمق فعالیت داشته و ترکیب اصلی‌شان آندزیتی و توف‌های وابسته به آن‌ها بوده تشکیل شده‌اند. به‌دنبال فعالیت ولکانیکی دوره ائوسن یک فاز کوهزایی در اوایل الیگوسن به‌وجود آمده و توده‌های گرانیتوئیدی بعد از ولکانیسم ائوسن را در جنوب و جنوب‌شرق منطقه

تشکیل داده‌اند که در ارتباط با فاز کوهزایی ائوسن پایانی - الیگوسن (۳۷ میلیون سال پیش) یعنی پیرنه^۱ هستند (مؤید، ۱۳۷۰؛ درویش‌زاده، ۱۳۸۰).



شکل ۳-۲- نمایش کلی از سنگ‌های رسوبی رس‌دار به سن نئوژن و شکل‌های مختلف فرسایش در منطقه (الف) شیاری، (ب) خندقی و (ج) حرکت دامنه‌ای

۳-۲- روش‌های میدانی ارزیابی توان کاهش فرسایش گیاهان

۳-۲-۱- پلات‌های فرسایش^۲

پلات‌های (کوادرات^۳ یا کرت) فرسایش به‌عنوان یکی از رایج‌ترین، دقیق‌ترین و قابل‌اعتمادترین روش‌های میدانی برای بررسی و ارزیابی اثر پوشش گیاهی بر کاهش فرسایش آبی خاک شناخته می‌شوند. این روش به‌دلیل امکان مهار نسبی شرایط، اندازه‌گیری مستقیم رواناب و رسوب، و قابلیت مقایسه کمی تیمارهای مختلف، در بسیاری از پژوهش‌های حفاظت خاک و آب‌خیزداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. پلات‌های آزمایشی این امکان را فراهم می‌کنند که نقش گونه‌های گیاهی مختلف یا نوع و تراکم پوشش گیاهی در کاهش رواناب سطحی و انتقال رسوب به‌صورت عینی و عددی بررسی شود (صادقی و پرویزی، ۱۴۰۱؛ Sheng و همکاران، ۲۰۲۵) (شکل ۳-۳).

^۱ Pyrenean

^۲ Erosion Plots

^۳ Quadrat



شکل ۳-۳- نمونه‌ای از پلات‌های اندازه‌گیری فرسایش با پوشش گیاهی مختلف

۳-۱-۲-۳- روش اجرای پلات‌های فرسایش

در این روش، ابتدا پلات‌هایی با ابعاد مشخص و استاندارد، متناسب با هدف تحقیق و شرایط منطقه، بر روی شیب طبیعی زمین احداث می‌شود. ابعاد پلات‌ها معمولاً کوچک و قابل‌مهار بوده و به‌طور متداول ابعادی نظیر 1×5 ، 2×10 و غیره دارند. اطراف پلات‌ها با مرزهایی فلزی، پلاستیکی یا بتنی محصور می‌شود تا از ورود یا خروج آب و رسوب از کناره‌ها جلوگیری شود و تنها رواناب تولیدشده در داخل پلات اندازه‌گیری شود. پس از آماده‌سازی پلات‌ها، گونه‌های گیاهی مختلف کاشته‌شده یا تیمارهای گوناگون پوشش گیاهی (مانند پوشش کامل، پوشش ناقص، مالچ گیاهی یا زمین بدون پوشش) اعمال می‌شود. در ادامه، پس از وقوع بارندگی‌های طبیعی، رواناب خروجی از انتهای پلات جمع‌آوری می‌شود. معمولاً در انتهای هر پلات یک ناودان و مخزن جمع‌آوری تعبیه می‌شود تا آب و رسوب به‌صورت کامل برداشت و برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل شود. امکان اندازه‌گیری حجم رواناب و غلظت رسوب در مخزن نیز وجود دارد (عرب‌خدری و حمزه، ۱۴۰۰).

۳-۲-۱-۲- شاخص‌های اندازه‌گیری در پلات‌های فرسایش

در مطالعات پلات‌های فرسایش، شاخص‌های متعددی برای ارزیابی شدت فرسایش و کارایی پوشش گیاهی اندازه‌گیری می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- حجم رواناب: مقدار آب جاری‌شده بر سطح خاک که معمولاً بر حسب لیتر (L) یا مترمکعب (m^3) بیان می‌شود و نشان‌دهنده توان پوشش گیاهی در کاهش جریان سطحی است.
- مقدار رسوب حمل‌شده: وزن ذرات خاک منتقل‌شده توسط رواناب که بر حسب گرم یا کیلوگرم (g) یا (kg) اندازه‌گیری می‌شود و شاخص مستقیمی از شدت فرسایش خاک به شمار می‌رود.
- تلفات خاک: میزان خاک از دست‌رفته در واحد سطح و زمان که معمولاً به‌صورت تن در هکتار در سال ($ha^{-1} yr^{-1} t$) گزارش می‌شود و برای مقایسه نتایج در مقیاس‌های بزرگ‌تر کاربرد دارد.

۳-۲-۱-۳- کاربرد پلات‌های فرسایش

مهم‌ترین کاربرد پلات‌های فرسایش، مقایسه مستقیم گونه‌های گیاهی یا تیمارهای مختلف پوشش زمین از نظر توانایی آن‌ها در کاهش رواناب سطحی و تلفات خاک است. نتایج حاصل از این مطالعات می‌تواند در انتخاب گونه‌های مناسب برای تثبیت خاک، طراحی برنامه‌های مدیریت پوشش گیاهی، و اجرای طرح‌های حفاظت خاک و آب‌خیزداری مورد استفاده قرار گیرد. همچنین داده‌های به‌دست‌آمده از پلات‌های فرسایش، مبنای ارزشمندی برای واسنجی^۱ و اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش خاک محسوب می‌شوند (Smith و Wischmeier، ۱۹۷۸؛ Nearing و همکاران، ۲۰۰۵).

۳-۲-۲- آزمایش باران مصنوعی^۲

آزمایش باران مصنوعی یکی از روش‌های دقیق و پرکاربرد در مطالعات مربوط به ارزیابی فرسایش آبی خاک است که در آن شرایط بارندگی طبیعی با شدت، مدت و ویژگی‌های مشخص، به‌صورت کاملاً مهارشده شبیه‌سازی می‌شود. در این روش، با استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز باران، امکان اعمال بارش‌هایی با شدت‌های

^۱ Calibration^۲ Rainfall Simulator

مختلف و قابل تنظیم فراهم می‌شود تا رفتار خاک و پوشش گیاهی در برابر بارندگی مورد بررسی قرار گیرد (Mc Gregor و همکاران، ۱۹۹۶؛ Parsons و Lascelles، ۲۰۰۰؛ هاتفی و همکاران، ۱۳۹۹) (شکل ۳-۴).

این شیوه به پژوهشگران اجازه می‌دهد اثر عوامل مختلفی نظیر نوع گونه گیاهی، تراکم پوشش، وضعیت سطح خاک و شیب زمین را تحت شرایط یکسان و قابل مقایسه ارزیابی کنند. از مهم‌ترین مزایای آزمایش باران مصنوعی، قابلیت مهار دقیق شدت بارندگی، اندازه قطرات باران و مدت زمان بارش است که باعث می‌شود شرایط آزمایش در دفعات مختلف کاملاً یکسان تکرار شود. این ویژگی، امکان مقایسه دقیق و معتبر بین گونه‌های گیاهی مختلف یا تیمارهای گوناگون مدیریتی را فراهم می‌کند و خطاهای ناشی از تغییرات غیرقابل پیش‌بینی بارندگی‌های طبیعی را به حداقل می‌رساند. همچنین، تکرارپذیری بالای این روش سبب شده است که نتایج حاصل از آن از اعتبار علمی بالایی برخوردار بوده و برای تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی فرسایش بسیار مناسب باشد (محمودآبادی و عرب‌خدری، ۱۳۸۴؛ صادقی و پرویزی، ۱۴۰۱).



شکل ۳-۴- اندازه‌گیری رواناب و رسوب جمع‌آوری شده با استفاده از شبیه‌ساز باران یک مترمربعی

در طی اجرای آزمایش باران شبیه‌سازی‌شده، متغیرهای متعددی به‌منظور ارزیابی میزان فرسایش و رواناب اندازه‌گیری می‌شود. از جمله این پارامترها می‌توان به شدت رواناب خروجی از سطح خاک اشاره کرد که نشان‌دهنده میزان جریان سطحی ایجادشده در اثر بارندگی است. علاوه‌براین، زمان شروع رواناب نیز ثبت می‌شود که بیانگر سرعت واکنش خاک و پوشش گیاهی به بارش و ظرفیت نفوذپذیری آن‌ها است. غلظت رسوب موجود در رواناب و میزان تلفات خاک نیز به‌عنوان شاخص‌های اصلی فرسایش اندازه‌گیری می‌شوند و اطلاعات دقیقی درباره شدت جداسازی و انتقال ذرات خاک ارائه می‌دهند (صادقی و پرویزی، ۱۴۰۱).

۳-۲-۳- روش‌های ارزیابی اثر پوشش گیاهی بر فرسایش

روش‌های ارزیابی مبتنی بر پوشش گیاهی بر این اصل استوارند که مقدار، نوع و توزیع پوشش گیاهی نقش اساسی در مهار فرسایش آبی خاک ایفا می‌کند (Wang و همکاران، ۲۰۰۴). پوشش گیاهی با کاهش انرژی برخورد قطرات باران، افزایش زبری سطح خاک، تقویت نفوذ آب و تثبیت ذرات خاک به‌وسیله ریشه‌ها، می‌تواند به‌طور مؤثری از ایجاد رواناب و انتقال رسوب جلوگیری کند (Andreu و همکاران، ۱۹۹۵، رستگار و همکاران، ۱۳۹۳). از این‌رو، شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی به‌عنوان ابزارهایی ساده، کم‌هزینه و درعین حال کارآمد برای ارزیابی توان کاهش فرسایش گیاهان در مطالعات حفاظت خاک و مدیریت سرزمین به‌کار می‌روند. اندازه‌گیری سطح پوشش گیاهی معمولاً از طریق سه روش اصلی انجام می‌شود: برداشت زمینی با استفاده از پلات، عکس‌برداری و تحلیل تصویر و سنجش از دور.

پلات به یک ابزار یا روش برداشت زمینی اطلاق می‌شود که در آن یک ناحیه مربع یا مستطیلی‌شکل از سطح زمین (که ابعاد، اندازه و تعداد آن معمولاً با استفاده از روش‌های آماری محاسبه می‌شود) به‌منظور بررسی و اندازه‌گیری پوشش گیاهی انتخاب می‌شود (Kim و همکاران، ۲۰۰۹، کاتبی کرد و همکاران، ۱۳۹۷، Sadeghi و همکاران، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱). در این روش، گیاهان موجود در محدوده پلات شناسایی و شمارش شده و از داده‌های به‌دست‌آمده برای برآورد درصد پوشش گیاهی یا تراکم آن‌ها در سطح وسیع‌تر استفاده می‌شود. این روش به‌دلیل دقت بالا و قابلیت مقایسه در شرایط مختلف محیطی، یکی از روش‌های رایج در مطالعات اکولوژیکی و بررسی‌های پوشش گیاهی محسوب می‌شود.

۳-۲-۳-۱- اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی

درصد پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کمی در ارزیابی نقش پوشش گیاهی در مهار فرسایش آبی محسوب می‌شود، زیرا افزایش پوشش سطحی خاک توسط گیاهان موجب کاهش رواناب، کاهش برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک و در نهایت کاهش اتلاف خاک می‌شود (Smith و Wischmeier، ۱۹۷۸؛ Pleguezuelo و Zuazo، ۲۰۰۸؛ سهراب و همکاران، ۱۴۰۱). این شاخص بیانگر نسبت سطحی از زمین است که توسط اندام‌های هوایی گیاهان، بقایای گیاهی یا تاج پوشش گیاهی آن‌ها پوشانده شده و به‌طور مستقیم میزان محافظت سطح خاک در برابر بارندگی و رواناب را نشان می‌دهد. هرچه درصد پوشش گیاهی بیشتر باشد، میزان تماس مستقیم قطرات باران با سطح خاک کاهش یافته و در نتیجه جداشدگی و جابه‌جایی ذرات خاک کمتر خواهد بود (Liu و همکاران، ۲۰۱۸).

اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که هر یک بسته به مقیاس مطالعه، دقت موردنیاز و امکانات موجود کاربرد دارد. در روش برداشت زمینی، معمولاً از پلات‌های مربعی یا مستطیلی استفاده می‌شود و درصد سطح پوشیده‌شده توسط گیاهان به‌صورت میدانی و مستقیم برآورد می‌شود (Coulloudon و همکاران، ۱۹۹۹). این روش اگرچه زمان‌بر است، اما دقت بالایی داشته و برای مطالعات کوچک مقیاس بسیار مناسب است. این روش به‌صورت عملی و مرحله‌به‌مرحله بشرح زیر انجام می‌گیرد:

۳-۲-۳-۱- تعیین اندازه و تعداد پلات‌ها

در گام نخست، پلاتی با ابعاد مشخص و ثابت انتخاب می‌شود. اندازه پلات به نوع پوشش گیاهی و مقیاس مطالعه بستگی دارد. برای پوشش‌های علفی و کوتاه، معمولاً پلات‌های مربعی با ابعاد $۰/۵ \times ۰/۵$ یا ۱×۱ متر استفاده می‌شود، درحالی‌که برای پوشش‌های بوته‌ای، پلات‌های مستطیلی بزرگ‌تر (مانند ۲×۱ متر) مناسب‌تر هستند. پلات‌ها معمولاً از فلز، چوب، لوله یا مواد پلاستیکی ساخته شده و به‌صورت سبک و قابل حمل طراحی می‌شوند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- تصویر یک پلات برای اندازه‌گیری درصد پوشش برخی گونه‌ها

در مطالعات علمی مربوط به پوشش گیاهی تعیین اندازه پلات و تعداد نمونه‌ها براساس اصول اکولوژی کمی و روش‌های آماری نمونه‌گیری انجام می‌شود. هدف از این فرآیند، دستیابی به حداقل سطح نمونه‌برداری با بیشترین کارایی و کاهش خطای برآورد در توصیف ویژگی‌های پوشش گیاهی است (ارزانی و عابدینی، ۱۳۹۴ الف و ۱۳۹۴ ب).

تعیین اندازه پلات

برای تعیین اندازه بهینه پلات، از منحنی گونه-مساحت^۱ استفاده می‌شود. در این روش، با افزایش تدریجی سطح پلات و ثبت تعداد گونه‌های تجمعی، زمانی که شیب منحنی به حد پایداری برسد (یعنی افزایش سطح منجر به افزایش معنی‌دار تعداد گونه‌ها نشود)، آن سطح به عنوان اندازه مناسب پلات در نظر گرفته می‌شود. این روش مبتنی بر اصل اشباع نمونه‌برداری در جوامع گیاهی است.

^۱ Species–Area Curve

تعیین تعداد پلات‌ها

برای تعیین تعداد بهینه پلات‌ها از روش‌های آماری برآورد حجم نمونه استفاده می‌شود. ابتدا تعداد نمونه (مثلاً ۱۰ پلات) گرفته می‌شود و میانگین ($\bar{X}$) و واریانس (S) آن محاسبه شده و سپس تعداد کمینه نمونه موردنیاز محاسبه می‌شود (رابطه ۱-۳). در این مطالعه، حجم نمونه براساس واریانس اولیه داده‌ها و دقت مورد انتظار محاسبه می‌شود (مصادقی، ۱۳۷۴).

$$n = \frac{t^2 (S\bar{X}/\bar{X})^2}{p^2} \quad (1-3)$$

که در آن:

n : تعداد پلات‌های موردنیاز

t : مقدار t استیودنت در سطح اطمینان مورد نظر (معمولاً ۱/۹۶ برای ۹۵ درصد)

$\bar{X}$: میانگین نمونه‌های اولیه

P : خطای مجاز برآورد^۱ که حدوداً ± 0.05 است.

$S\bar{X}^2$: اشتباه معیار میانگین است که از رابطه (۲-۳) محاسبه می‌شود.

$$S\bar{X} = \sqrt{\frac{S^2}{n}} \quad (2-3)$$

و در آن واریانس (S^2) برابر است با:

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n-1} \quad (3-3)$$

n : تعداد نمونه اولیه

در این پژوهش، ابتدا یک نمونه‌برداری مقدماتی^۲ انجام می‌شود و براساس مقادیر واریانس متغیرهای اصلی پوشش گیاهی (مانند درصد پوشش، تراکم یا ترکیب گونه‌ای)، تعداد پلات‌های لازم برآورد می‌شود. سپس با افزایش تدریجی تعداد نمونه‌ها و بررسی پایداری میانگین و کاهش تغییرات انحراف معیار تجمعی، کفایت حجم

^۱ Precision level

^۲ Pilot sampling

نمونه تأیید می‌شود. این رویکرد با اصول استاندارد در اکولوژی کمی پوشش گیاهی و مطالعات مرتعداری همخوانی داشته و موجب کاهش سوگیری نمونه‌برداری و افزایش قابلیت تعمیم نتایج می‌شود.

۳-۲-۳-۱-۲- استقرار پلات در عرصه

پس از تعیین محل مطالعه، پلات‌ها به صورت تصادفی یا منظم در سطح منطقه مورد بررسی قرار داده می‌شوند تا نماینده مناسبی از پوشش گیاهی کل منطقه باشند. برای جلوگیری از سوگیری، مکان قرارگیری پلات‌ها معمولاً با روش‌های تصادفی (مانند پرتاب تصادفی پلات یا استفاده از مختصات از پیش تعیین شده) انتخاب می‌شود. تعداد پلات‌ها بسته به وسعت منطقه، میزان ناهمگنی و یکنواختی پوشش گیاهی و براساس روش‌های آماری تعیین حجم نمونه مشخص می‌گردد، باین حال افزایش تعداد پلات‌ها موجب افزایش دقت و قابلیت اعتماد نتایج خواهد شد.

علاوه بر این، استقرار پلات‌ها به طور مستقیم به استراتژی و طرح نمونه‌برداری وابسته است؛ به گونه‌ای که نوع روش نمونه‌برداری (تصادفی، طبقه‌بندی شده یا سیستماتیک) تعیین کننده نحوه جانمایی پلات‌ها در سطح منطقه است. در بسیاری از مطالعات پوشش گیاهی و مرتع، به منظور افزایش کارایی نمونه‌برداری و تمرکز بر نواحی دارای بیشترین تغییرپذیری اکولوژیک، استقرار پلات‌ها در مناطق کلیدی^۱ انجام می‌شود. منظور از مناطق کلیدی، بخش‌هایی از مرتع یا اکوسیستم هستند که به دلیل موقعیت اکولوژیکی، حساسیت بالا، شدت تأثیرپذیری از عوامل مدیریتی یا اقلیمی، و یا نمایندگی مناسب از شرایط کلی رویشگاه، قادرند تغییرات پوشش گیاهی و وضعیت مرتع را بهتر از سایر بخش‌ها منعکس کنند. این مناطق معمولاً شامل نواحی با تولید زیست توده بالاتر، فشار چرای قابل توجه یا حساسیت بیشتر به فرسایش بوده و به عنوان شاخصی برای ارزیابی وضعیت کلی اکوسیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

^۱ Key Areas

۳-۲-۳-۱-۳- برآورد سطح پوشیده‌شده توسط گیاهان

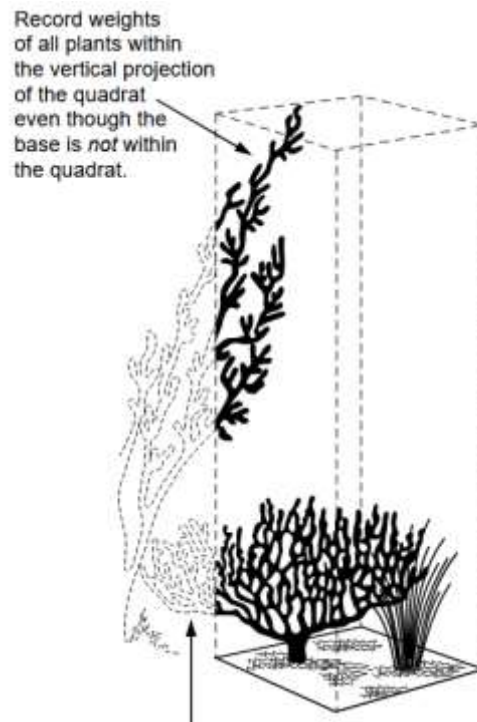
پس از قراردادن پلات روی زمین، سطح داخل آن به دقت بررسی می‌شود. براساس مشاهدات انجام‌گرفته میزان سطحی را که توسط اندام‌های هوایی گیاهان (برگ، ساقه و تاج‌پوشش گیاهی) پوشیده شده است، برآورد می‌شود. در این مرحله، تنها پوشش گیاهی زنده یا بسته به هدف مطالعه، بقایای گیاهی سطح خاک نیز در نظر گرفته می‌شود. در برخی پلات‌ها، شبکه‌ای از خطوط یا خانه‌های کوچک (مثلاً 10×10 سانتی‌مترمربع) تعبیه می‌شود که این روش کمک می‌کند درصد پوشش با دقت بیشتری تخمین زده شود. در این حالت، تعداد خانه‌هایی که بیش از نیمی از آن‌ها توسط گیاهان پوشیده شده‌اند مورد شمارش قرار می‌گیرند (مقدم، ۱۳۷۹).

۳-۲-۳-۲-۴- محاسبه درصد پوشش گیاهی

برای محاسبه درصد پوشش گیاهی، نسبت سطح پوشیده‌شده توسط گیاهان به کل سطح پلات محاسبه و در عدد ۱۰۰ ضرب می‌شود. به‌طور مثال، اگر در یک پلات ۱ مترمربعی، حدود $0/6$ مترمربع از سطح زمین توسط گیاهان پوشیده شده باشد، درصد پوشش گیاهی برابر با ۶۰ درصد خواهد بود. در روش شبکه‌ای نیز درصد پوشش از تقسیم تعداد خانه‌های پوشیده‌شده بر کل تعداد خانه‌ها و ضرب در ۱۰۰ به‌دست می‌آید. در نمونه‌برداری از پلات‌ها به باید به نکات زیر توجه شود:

- هنگام محاسبه وزن یا درصد پوشش گیاهان، فقط بخش‌هایی که به‌طور عمودی بالای پلات قرار دارند ثبت می‌شوند. حتی اگر پایه گیاه داخل پلات باشد، بخش‌هایی که از محدوده پلات بیرون زده‌اند، در محاسبه لحاظ نمی‌شوند (شکل ۳-۶).

- ثبت تمامی بخش‌های گیاهی واقع در تصویر عمودی پلات (یا کوادرات)، به‌گونه‌ای که تنها اندام‌هایی که در محدوده عمودی پلات قرار می‌گیرند در نظر گرفته شده و بخش‌های خارج از مرز آن در اندازه‌گیری لحاظ نمی‌شوند، حتی در صورتی که یقه یا همان پایه گیاه در داخل پلات قرار داشته باشد.



شکل ۳-۶- بخش‌های گیاهی واقع در تصویر عمودی پلات که در محاسبات در نظر گرفته می‌شود (Coulloudon و همکاران، ۱۹۹۹)

- رعایت این موضوع تضمین می‌کند که داده‌های به‌دست‌آمده دقیق و قابل مقایسه باشند.
- برای گیاهان علفی، پوشش پایه‌ای^۱ معمولاً به‌عنوان شاخصی پایدارتر و قابل اعتمادتر برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی در طول زمان در نظر گرفته می‌شود. دلیل این موضوع آن است که این شاخص کمتر تحت تأثیر تغییرات فصلی، چرای دام یا شرایط موقتی محیطی قرار می‌گیرد و در نتیجه تصویر دقیق‌تری از وضعیت واقعی و بلندمدت پوشش گیاهی ارائه می‌دهد. پوشش پایه‌ای به بخشی از سطح خاک اطلاق می‌شود که مستقیماً توسط قسمت‌های تحتانی گیاه، معمولاً محل اتصال ساقه به ریشه یا طوقه، اشغال شده است. به عبارت دیگر، در این شاخص تنها ردپای واقعی گیاه در سطح تماس با خاک مدنظر قرار می‌گیرد و بخش‌های هوایی مانند برگ‌ها و ساقه‌های گسترده در فضای بالای سطح زمین در محاسبه لحاظ نمی‌شوند. برای مثال، یک بوته علفی ممکن است دارای تاج‌پوشش گیاهی گسترده و برگ‌های فراوان باشد که سطح قابل توجهی را می‌پوشاند، اما پوشش پایه‌ای آن صرفاً به ناحیه کوچک و محدود در محل خروج ساقه‌ها از خاک مربوط شود. از این‌رو، درحالی که تاج‌پوشش

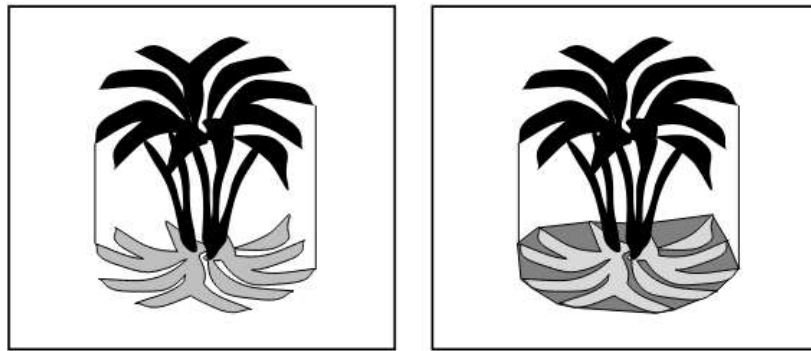
^۱ Basal cover

گیاهی بیانگر سطح سایه‌انداز کلی اندام‌های هوایی گیاه است، پوشش پایه‌ای تنها بیانگر سطح تماس مستقیم گیاه با خاک است. این ویژگی موجب می‌شود پوشش پایه‌ای شاخصی دقیق‌تر و پایدارتر برای ارزیابی تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی و کاهش خطاهای ناشی از نوسانات فصلی در مطالعات مرتع‌داری و فرسایش خاک محسوب شود (Herrick و همکاران، ۲۰۰۵؛ Smith و همکاران، ۲۰۱۲). پوشش شاخ و برگ^۱ برای تعیین سهم واقعی گونه‌ها در جامعه گیاهی مناسب است. پوشش شاخ و برگ شاخص مناسبی برای برآورد سهم نسبی و واقعی گونه‌ها در ترکیب جامعه گیاهی محسوب می‌شود، زیرا تنها سطح اشغال‌شده توسط برگ‌ها و اندام‌های فتوسنتزی هر گونه را در نظر می‌گیرد و اثر هم‌پوشانی و تراکم ساقه‌ها را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. از این رو، این شاخص نسبت به برخی معیارهای دیگر مانند تاج‌پوشش گیاهی، دقت بیشتری در تفکیک سهم گونه‌ها در اکوسیستم‌های مرتعی فراهم می‌سازد (Smith و همکاران، ۲۰۱۲؛ Nyberg و همکاران، ۲۰۱۳).

تاج‌پوشش برای ارزیابی ساختار کلی پوشش گیاهی و عملکرد هیدرولوژیکی منطقه به کار می‌رود. پوشش برگ‌ها به مساحت زمین پوشیده شده توسط تصویر عمودی برگ و ساقه و اندام هوایی گیاهان گفته می‌شود، که در آن فضاهای کوچک خالی داخل تاج حذف می‌شوند و هم‌پوشانی برگ‌های یک گونه نیز در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین مقدار پوشش برگ‌ها معمولاً کمتر از ۱۰۰ درصد است و بیشتر برای تعیین سهم واقعی گونه‌ها در جامعه گیاهی استفاده می‌شود.

در مقابل، مساحت زمین پوشیده شده توسط تصویر عمودی بیرونی‌ترین گسترش تاج‌پوشش گیاهان است که فضاهای خالی داخل تاج را نیز شامل می‌شود و هم‌پوشانی گونه‌های مختلف در آن شمرده می‌شود. به همین دلیل مقدار پوشش تاجی ممکن است بیش از ۱۰۰ درصد شود و بیشتر برای ارزیابی ساختار کلی پوشش گیاهی و عملکرد هیدرولوژیکی سایت کاربرد دارد (شکل ۳-۷ و جدول ۳-۱).

^۱ Foliar cover



(ب)

(الف)

شکل ۳-۷- مقایسه تصویری (الف) تاج پوشش و (ب) پوشش شاخ و برگ (Coulloudon و همکاران، ۱۹۹۹؛ Nyberg و همکاران، ۲۰۱۳)

۳-۲-۳-۱-۵- تکرار اندازه گیری و میانگین گیری

بعد از تعیین اندازه و تعداد پلات ها و انجام نمونه برداری، این مراحل برای تمام پلات های قرار داده شده در منطقه تکرار می شود. در پایان، میانگین درصد پوشش گیاهی محاسبه شده از تمام پلات ها به عنوان درصد پوشش گیاهی نماینده کل منطقه گزارش می گردد. در صورت نیاز، می توان تغییرات مکانی یا زمانی پوشش گیاهی را نیز با مقایسه نتایج پلات ها در دوره های مختلف بررسی کرد.

جدول ۳-۱- مقایسه ویژگی ها و کاربردهای پوشش برگی و تاج پوشش (Coulloudon و همکاران، ۱۹۹۹؛ Nyberg و همکاران، ۲۰۱۳؛ Pellant و همکاران، ۲۰۲۰)

ویژگی	پوشش شاخ و برگ	تاج پوشش
تعریف	مساحت زمین پوشیده شده توسط تصویر عمودی برگ ها و اندام های هوایی گیاهان	مساحت زمین پوشیده شده توسط تصویر عمودی بیرونی ترین گسترش تاج گیاهان
فضاهای خالی	فضاهای کوچک خالی داخل تاج حذف می شوند	فضاهای خالی داخل تاج لحاظ می شوند
هم پوشانی گونه ها	هم پوشانی درون گونه ای حذف می شود	هم پوشانی گونه ها شمرده می شود
مقدار	معمولاً کمتر از ۱۰۰ درصد است	ممکن است بیش از ۱۰۰ درصد شود
کاربرد	تعیین سهم واقعی گونه ها در جامعه گیاهی	ارزیابی ساختار کلی پوشش گیاهی و عملکرد هیدرولوژیکی

۳-۲-۳-۱-۶- تفسیر نتایج

درصد پوشش گیاهی برآورد شده از طریق روش پلات، به عنوان یکی از شاخص های کلیدی در اکولوژی کمی و علوم مرتع، برای ارزیابی وضعیت پوشش زمین و کارایی آن در حفاظت خاک در برابر فرسایش آبی مورد

استفاده قرار می‌گیرد. در این چارچوب، پوشش گیاهی به‌عنوان یک متغیر ساختاری- عملکردی، نقش مهمی در کاهش انرژی پاشمانی باران، افزایش زبری سطح خاک و کاهش رواناب سطحی ایفا می‌کند. افزایش درصد پوشش گیاهی معمولاً بیانگر بهبود پایداری سطح خاک، کاهش حساسیت به فرسایش و ارتقای عملکرد حفاظتی اکوسیستم است و می‌تواند مبنایی برای مقایسه بین تیمارهای مدیریتی، تیپ‌های گیاهی یا شرایط مختلف رویشگاهی قرار گیرد.

از دیدگاه روش‌شناسی، برآورد پوشش گیاهی در مطالعات مرتع معمولاً براساس روش‌های نمونه‌برداری تصادفی یا طبقه‌بندی‌شده با استفاده از پلات انجام می‌شود. در این روش، بسته به هدف مطالعه، از شاخص‌های مختلفی مانند تاج‌پوشش، پوشش شاخ و برگ و در برخی موارد پوشش پایه‌ای استفاده می‌شود که هر یک بیانگر جنبه‌ای متفاوت از ساختار پوشش گیاهی هستند. انتخاب نوع شاخص و طراحی نمونه‌برداری باید براساس اصول اکولوژی کمی، یکنواختی جامعه گیاهی و هدف مطالعه صورت گیرد تا برآوردها دارای دقت و قابلیت تعمیم مناسب باشند.

در تفسیر نتایج حاصل از اندازه‌گیری پوشش گیاهی، مقادیر به‌دست‌آمده معمولاً به‌صورت درصدی بیان شده و براساس مقایسه بین واحدهای نمونه‌برداری، تیمارها یا دوره‌های زمانی مختلف تحلیل می‌شوند. به‌طور کلی، مقادیر بالاتر پوشش گیاهی نشان‌دهنده وضعیت اکولوژیکی مطلوب‌تر، حفاظت بیشتر خاک و کاهش خطر فرسایش است، درحالی‌که مقادیر پایین‌تر بیانگر کاهش پوشش حفاظتی، افزایش آسیب‌پذیری خاک و احتمال بالاتر وقوع فرسایش است. همچنین، تغییرات مکانی در درصد پوشش می‌تواند نشان‌دهنده ناهمگنی رویشگاه یا اثر عوامل مدیریتی و محیطی باشد، درحالی‌که تغییرات زمانی مبنایی برای ارزیابی روندهای تخریب یا بهبود پوشش گیاهی در اثر مدیریت یا شرایط اقلیمی فراهم می‌کند.

در مجموع، روش پلات‌های مربعی یا مستطیلی به‌عنوان یکی از روش‌های استاندارد و پرکاربرد در مطالعات پوشش گیاهی، به‌دلیل سادگی اجرا، هزینه پایین، قابلیت تکرارپذیری و دقت قابل قبول، در بسیاری از منابع معتبر اکولوژی مرتع به‌عنوان روش پایه برای اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی معرفی شده است. این روش

امکان ارزیابی کمی اثرات پوشش گیاهی بر فرآیندهای فرسایش خاک و نیز تحلیل تغییرات مکانی و زمانی وضعیت اکوسیستم را فراهم می‌سازد.

۳-۲-۳- شاخص سطح برگ^۱

شاخص سطح برگ یکی از شاخص‌های مهم و پرکاربرد در مطالعات پوشش گیاهی، فرسایش خاک و هیدرولوژی است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۱). در تعریف کلاسیک، شاخص سطح برگ برابر با سطح یک‌طرفه برگ‌ها نسبت به سطح افقی زمین در نظر گرفته شده است؛ هرچند در گیاهانی با ساختار برگ پیچیده یا سوزنی، تعاریف مبتنی بر سطح برگ تصویرشده یا نیمی از سطح کل برگ نیز پیشنهاد شده‌اند (Chen و Black، ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲؛ Lang، ۱۹۹۱؛ Myneni و همکاران، ۱۹۹۷).

مقدار شاخص سطح برگ به شدت تحت تأثیر ترکیب گونه‌ای، مرحله رشد گیاه، شرایط فصلی، ویژگی‌های رویشگاه و شیوه‌های مدیریتی قرار دارد. به همین دلیل، دامنه تغییرات این شاخص در اکوسیستم‌های مختلف بسیار گسترده گزارش شده است؛ به گونه‌ای که مقادیر آن در جنگل‌ها از حدود ۰/۴۰ در برخی گونه‌های پهن‌برگ تا حدود ۱۴ در تاج‌پوشش‌های سوزنی‌برگ متراکم متغیر بوده است (Le Dantec و همکاران، ۲۰۰۰؛ Turner و همکاران، ۲۰۰۰). در اغلب بیوم‌ها^۲، به جز نواحی بیابانی و توندرا، مقادیر شاخص سطح برگ معمولاً در دامنه ۳ تا ۱۹ قرار می‌گیرد (Schulze، ۱۹۸۲).

این شاخص به‌طور مستقیم توان گیاه را در جذب، تضعیف و توزیع مجدد انرژی ناشی از بارندگی نشان می‌دهد و نقش کلیدی در کاهش اثرات مخرب برخورد قطرات باران با سطح خاک ایفا می‌کند. افزایش مقدار شاخص سطح برگ سبب می‌شود بخش قابل‌توجهی از انرژی جنبشی قطرات باران پیش از رسیدن به سطح خاک توسط تاج‌پوشش گیاهی جذب یا مستهلک شود. در چنین شرایطی، سرعت و انرژی برخورد قطرات کاهش‌یافته و شدت پدیده‌هایی نظیر فرسایش پاشمانی^۳ و جداشدگی اولیه ذرات خاک به‌طور محسوسی کمتر

^۱ Leaf Area Index – LAI

^۲ بیوم (Biome) به ناحیه‌ای وسیع از سطح زمین گفته می‌شود که دارای شرایط اقلیمی مشابه بوده و در نتیجه از پوشش گیاهی و جانوری خاص و نسبتاً یکنواختی برخوردار است. هر بیوم بر اساس عواملی مانند دما، میزان بارش، نوع خاک و ویژگی‌های محیطی شکل می‌گیرد و شامل مجموعه‌ای از اکوسیستم‌های مشابه در یک منطقه جغرافیایی بزرگ می‌باشد؛ مانند بیوم جنگل‌های بارانی، بیابان‌ها، ساوانا و توندرا.

^۳ Splash

می‌شود. در نتیجه، فرآیندهای آغازین فرسایش آبی، به‌ویژه فرسایش پاشمانی و شیاری، تا حد زیادی مهار می‌شوند.

هرچه مقدار شاخص سطح برگ بالاتر باشد، سطح برگ‌های گیاه متراکم‌تر بوده و نقش حفاظتی آن در برابر بارندگی مؤثرتر خواهد بود. این امر علاوه بر کاهش انرژی برخورد قطرات، موجب افزایش زبری سطحی، بهبود نفوذپذیری خاک و کاهش سرعت رواناب سطحی می‌شود. همچنین، گیاهانی با شاخص سطح برگ بالا معمولاً بقایای گیاهی بیشتری در سطح خاک تولید می‌کنند که خود به‌عنوان یک لایه محافظ اضافی عمل کرده و فرسایش را بیش از پیش کاهش می‌دهد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۱).

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که بین شاخص سطح برگ و کاهش فرسایش خاک، به‌ویژه فرسایش بین‌شیاری، ارتباط مستقیم و معناداری وجود دارد. به‌گونه‌ای که افزایش آن اغلب با کاهش قابل توجه میزان جداسازی و انتقال ذرات خاک همراه است. پوشش‌های گیاهی با شاخص سطح برگ بالاتر، به‌دلیل توان بیشتر در جذب انرژی باران و مهار رواناب، نقش مؤثرتری در کاهش فرسایش بین‌شیاری ایفا می‌کنند (Morgan، ۲۰۰۵). از این رو، شاخص سطح برگ می‌تواند به‌عنوان معیاری کارآمد برای ارزیابی عملکرد گونه‌های گیاهی و مدیریت پوشش زمین در برنامه‌های حفاظت خاک و مهار فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

برآورد شاخص سطح برگ به دو گروه اصلی روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود. روش‌های مستقیم مبتنی بر اندازه‌گیری واقعی سطح برگ هستند، درحالی که روش‌های غیرمستقیم مقدار این شاخص را از پارامترهای قابل اندازه‌گیری آسان‌تر استنتاج می‌کنند (Gower و همکاران، ۱۹۹۹؛ Kussner و Mosandl، ۲۰۰۰). در میان روش‌های غیرمستقیم، اندازه‌گیری‌های نوری به‌ویژه عکسبرداری به‌عنوان روشی کارآمد برای برآورد ساختار تاج‌پوشش و شاخص سطح برگ مورد توجه قرار گرفته است و استفاده از دوربین‌های دیجیتال با دامنه دینامیکی بالا می‌تواند بسیاری از محدودیت‌های فنی این روش را کاهش دهد (Fang و همکاران، ۲۰۱۹).

ریشه‌های گیاهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای پنهان پوشش گیاهی، نقش اساسی در افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش آبی ایفا می‌کنند. برخلاف اندام‌های هوایی که عمدتاً در کاهش انرژی ضربه‌ای باران و مهار رواناب سطحی مؤثر هستند، سامانه ریشه‌ای با تقویت پیوند بین ذرات خاک، به‌طور مستقیم بر پایداری مکانیکی خاک اثر می‌گذارد. ریشه‌ها با نفوذ در لایه‌های مختلف خاک و ایجاد شبکه‌ای به‌هم‌پیوسته، موجب افزایش انسجام خاک، کاهش قابلیت جداشدگی ذرات و در نهایت مهار فرایندهای پیشرفته فرسایش می‌شوند. سامانه ریشه‌ای گیاهان از طریق افزایش پایداری ساختاری خاک، مانع کنده‌شدن و جابه‌جایی ذرات خاک در اثر جریان آب می‌شود. وجود ریشه‌ها سبب افزایش مقاومت برشی خاک شده و در نتیجه، احتمال شکل‌گیری و گسترش شیارها و خندق‌ها به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. این نقش به‌ویژه در شیب‌ها، حاشیه آبراهه‌ها و مناطق مستعد فرسایش شیاری و خندقی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

در این تحقیق، نمونه‌های گیاهی از گونه مختلف جمع‌آوری شدند که به خانواده‌های متفاوت گیاهی تعلق دارند. برای استخراج داده‌ها، نوع ریشه هر گیاه با استفاده از ویژگی‌های ظاهری آن به‌طور دقیق شناسایی شد. این ویژگی‌ها شامل ریشه‌های افشان یا فیبری^۱، ریشه‌های اصلی یا راست^۲، ریشه‌های خزنده^۳، و ریشه‌های مقاوم^۴ می‌شود. در این مطالعه، ریشه‌های راست و افشان به عنوان ریشه‌های اصلی در بیشتر گیاهان مورد بررسی قرار گرفتند و انواع دیگر ریشه‌ها مانند ریشه‌های ذخیره‌ای^۵ و مورب^۶ نیز در گیاهان خاصی دیده شدند (شکل ۳-۸) (Gregory, ۲۰۰۶؛ Morrow, ۲۰۲۶). در این پژوهش فرآیند شناسایی ریشه‌ها به‌طور بصری انجام شد و در صورت نیاز و برای تأیید بیشتر، نمونه‌ها می‌توانند تحت آزمایشات میکروسکوپی نیز قرار گیرند.

۱- ریشه‌های افشان یا فیبری

این نوع ریشه‌ها از تعدادی ریشه‌های نازک و ظریف تشکیل می‌شوند که از ساقه به‌صورت گسترده و در تعداد زیاد بیرون می‌آیند. در ریشه‌های افشان، هیچ ریشه اصلی (محوری) وجود ندارد و تمام ریشه‌ها به‌طور

¹ Fibrous Roots

² Main Roots or Tap Roots

³ Creeping Roots

⁴ Resistant Roots

⁵ Storage Roots

⁶ Oblique Roots

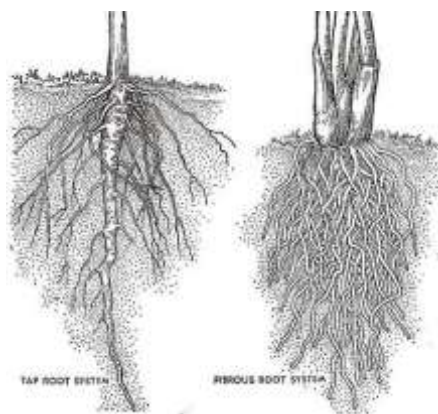
هم‌زمان از قسمت‌های مختلف ساقه رشد می‌کنند. این نوع ریشه‌ها بیشتر در گیاهانی مانند گندم، جو و بسیاری از گیاهان علفی مشاهده می‌شود.

۲- ریشه‌های راست یا اصلی

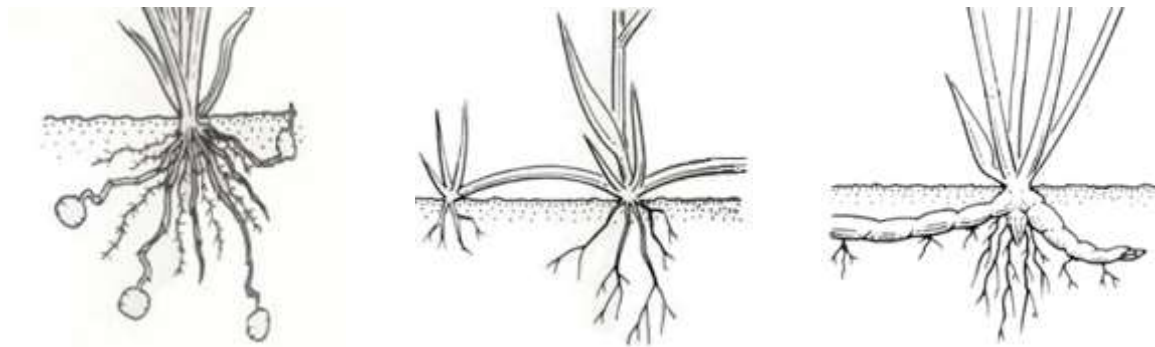
ریشه‌های اصلی یا ریشه‌های راست به ریشه‌هایی گفته می‌شود که از بن یا ساقه اصلی گیاه منشعب می‌شوند و رشد عمودی به سمت پایین دارند. این ریشه‌ها معمولاً به عنوان ریشه‌های اولیه برای جذب آب و مواد مغذی از خاک عمل می‌کنند. ریشه‌های اصلی معمولاً ضخیم‌تر از سایر ریشه‌ها هستند و در بسیاری از گیاهان تک‌ساله یا درختی مشاهده می‌شوند.

۳- ریشه‌های خزنده

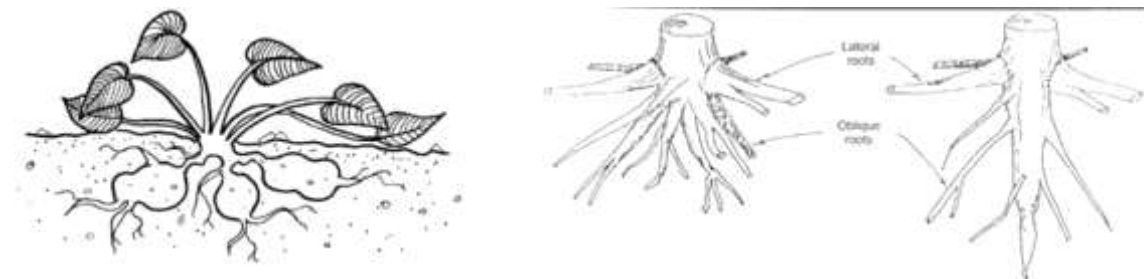
ریشه‌های خزنده به ریشه‌هایی اطلاق می‌شود که به‌طور افقی در سطح خاک رشد می‌کنند و معمولاً به‌منظور توسعه بیشتر گیاه و پیدا کردن منابع جدید آب و مواد مغذی، از نواحی مختلف ساقه منشعب می‌شوند. این ریشه‌ها به گیاهان این امکان را می‌دهند که به‌طور گسترده‌تری پخش شوند و در نواحی جدید مستقر شوند. برخی از گیاهان مانند خارشر (*Alhagi pseudalhagi*) از این نوع ریشه‌ها برخوردار هستند.



الف و ب) افشان و راست



از طریق ریزوم های زیرزمینی از طریق استولون های بالای زمینی ریشه با غده ها
 (ج) ریشه های خزنده: الگوی رشد خزنده، گسترش از طریق ریزوم های زیرزمینی^۱؛ الگوی رشد خزنده، گسترش از طریق استولون های بالای زمینی^۲ و سامانه ریشه ای با غده ها^۳



(ه) ذخیره ای

(د) مورب

شکل ۳-۸- شکل های مهم ریشه گیاهان

۴- ریشه های مقاوم

ریشه های مقاوم به ریشه هایی اطلاق می شود که ساختاری خاص برای تحمل شرایط محیطی سخت مانند خشکی یا خاک های غنی از نمک دارند. این نوع ریشه ها معمولاً قادر به زنده ماندن در شرایطی هستند که سایر ریشه ها ممکن است آسیب ببینند. برخی گیاهان دارای ریشه های مقاوم مانند زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.) یا درمنه (*Artemisia marschalliana* Sprengel) هستند.

^۱ Creeping growth habit, spreading by underground rhizomes

^۲ Creeping growth habit, spreading by aboveground stolons

^۳ Root system with tubers

۵- ریشه‌های مورب

ریشه‌های مورب، ریشه‌هایی هستند که به‌طور زاویه‌دار نسبت به ساقه گیاه رشد می‌کنند. این نوع ریشه‌ها معمولاً در شرایط خاص یا در گیاهانی که به‌دنبال پناهگاهی خاص در خاک هستند، مشاهده می‌شود. گیاهانی مانند خارشتر (*Alhagi pseudalhagi*) نمونه‌ای از این نوع ریشه‌ها دارند.

۶- ریشه‌های ذخیره‌ای

این ریشه‌ها به‌منظور ذخیره‌سازی مواد غذایی مانند قند و نشاسته در گیاهان به وجود می‌آیند. معمولاً در گیاهان مانند گیاهان خانواده بقولات Fabaceae مانند شیرین بیان (*Glycyrrhiza aspera*) مشاهده می‌شود. این ریشه‌ها می‌توانند در طول فصول خشک یا سخت به عنوان منبع ذخیره غذایی عمل کنند. تأثیر ریشه‌ها در مقابله با فرسایش به ویژگی‌های محیطی، نوع خاک و نیازهای خاص منطقه بستگی دارد. ریشه‌های افشان در شرایطی که تثبیت سطحی خاک مهم است، می‌توانند مؤثر واقع شوند، اما در مناطقی که نیاز به تثبیت عمقی خاک است، ریشه‌های راست توانایی بیشتری در مقابله با فرسایش دارند. به‌طور کلی، نمی‌توان یک نوع ریشه را به‌طور مطلق مؤثرتر از دیگری دانست؛ بلکه باید نوع ریشه براساس ویژگی‌های خاص محیط و هدف کنترل فرسایش انتخاب شود. در این راستا، انتخاب گیاهان با ریشه‌های افشان یا راست باید با توجه به نیازهای اکولوژیکی و شرایط محیطی هر منطقه انجام شود تا بهترین نتیجه در مهار فرسایش حاصل شود.

۳-۲-۳-۱- آزمون‌های مقاومت مکانیکی ریشه

به‌منظور ارزیابی کمی نقش ریشه‌ها در کاهش فرسایش آبی، از آزمون‌های مقاومت مکانیکی ریشه استفاده می‌شود. این آزمون‌ها ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ریشه را که در تثبیت خاک مؤثر هستند، اندازه‌گیری کرده و امکان مقایسه گونه‌های گیاهی مختلف را فراهم می‌کنند. یکی از مهم‌ترین این روش‌ها، آزمون کشش ریشه^۱ است. در این آزمون، نمونه‌ای از ریشه گیاه تحت نیروی کششی قرار می‌گیرد تا میزان مقاومت آن در

^۱ Root Tensile Strength

برابر گسیختگی اندازه‌گیری شود. مقاومت کششی ریشه نشان‌دهنده توان ریشه در تحمل نیروهای وارده ناشی از جریان آب و تنش‌های برشی خاک است. هرچه مقاومت کششی ریشه بیشتر باشد، نقش آن در افزایش انسجام خاک و کاهش فرسایش بیشتر خواهد بود.

روش دیگر، آزمون بیرون‌کشیدن ریشه از خاک است که در آن نیروی لازم برای خارج کردن ریشه یا مجموعه‌ای از ریشه‌ها از داخل خاک اندازه‌گیری می‌شود. این آزمون علاوه بر مقاومت خود ریشه، میزان درگیری و پیوند ریشه با خاک اطراف را نیز در نظر می‌گیرد و شاخص مناسبی برای ارزیابی توان گیاه در تثبیت خاک محسوب می‌شود. نتایج این آزمون به‌ویژه در بررسی پایداری شیب‌ها و مهار فرسایش خندقی کاربرد فراوانی دارد مطالعات نشان داده‌اند که گونه‌های گیاهی دارای چگالی ریشه بالاتر، توسعه عمقی و افقی بیشتر و مقاومت کششی قوی‌تر، عملکرد بهتری در کاهش فرسایش شیاری و خندقی دارند. نتایج پژوهش De Baets و همکاران (۲۰۰۸) تأیید می‌کند که افزایش چگالی و استحکام سامانه ریشه‌ای می‌تواند به‌طور مؤثری پایداری خاک را افزایش داده و از گسترش شیارها و خندق‌ها جلوگیری کند. براین اساس، انتخاب گونه‌های گیاهی با سامانه ریشه‌ای قوی می‌تواند یکی از راهبردهای کلیدی در برنامه‌های حفاظت خاک و مهار فرسایش آبی باشد.

۳-۲-۳-۴- توانایی اندام‌های هوایی در مهار فرسایش

علاوه بر نوع ریشه، توانایی اندام‌های هوایی در مهار فرسایش نیز از جمله ویژگی‌های مهم مورد بررسی است. برخی از گیاهان مانند شیر خشت (*Cotoneaster nummularia*) و خارستر (*Alhagi pseudalhagi*) توانایی بالایی در مهار فرسایش از طریق اندام‌های هوایی خود دارند. این گیاهان با پوشش ضخیم و متراکم خود، می‌توانند به‌طور مؤثری مانع از حرکت خاک توسط باد یا آب شوند. درحالی که برخی دیگر مانند علف شور یا شورخاردار (*Salsola kali*) و گل گندم بوته‌ای (*Centaurea virgata*) توانایی کمتری در این زمینه دارند.

۳-۲-۳-۵- روش عکس‌برداری و سنجش از دور

روش‌های مبتنی بر عکس‌برداری دیجیتال و سنجش از دور امروزه به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین رویکردهای غیرمخرب در ارزیابی کمی پوشش گیاهی و تحلیل نقش حفاظتی گونه‌های گیاهی در مهار فرسایش خاک

شناخته می‌شوند. پیشرفت سریع فناوری‌های تصویربرداری، سامانه‌های پرنده بدون سرنشین^۱، حسگرهای طیفی و الگوریتم‌های پردازش تصویر، امکان اندازه‌گیری عینی و تکرارپذیر ویژگی‌های ساختاری پوشش گیاهی را فراهم ساخته است. در این روش، ابتدا تصاویر رقومی با قدرت تفکیک مناسب از سطح زمین تهیه می‌شود. تصویربرداری می‌تواند در سه مقیاس مختلف انجام گیرد:

تصویربرداری پوشش گیاهی بسته به هدف مطالعه و مقیاس بررسی، در سه سطح اصلی انجام می‌شود. در مقیاس زمینی، تصاویر با استفاده از دوربین‌های دیجیتال نصب‌شده بر روی سه‌پایه و در ارتفاع ثابت از سطح زمین تهیه می‌شوند یا از سامانه‌های فتوگرامتری نزدیک‌برد بهره گرفته می‌شود؛ این روش امکان ثبت دقیق ویژگی‌های ریزمقیاس پوشش گیاهی و اندازه‌گیری مستقیم پارامترهایی مانند درصد پوشش، تراکم و پراکنش گونه‌ها را فراهم می‌کند. در مقیاس هوایی کم‌ارتفاع، از پهپادها برای برداشت تصاویر استفاده می‌شود که به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا، قابلیت تهیه داده‌های بسیار دقیق از لکه‌های گیاهی، ساختار تاج‌پوشش، یکنواختی استقرار و الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی را فراهم می‌سازند (Beniaich و همکاران، ۲۰۱۹). در نهایت، در مقیاس منطقه‌ای، تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی یا ابرطیفی به کار گرفته می‌شوند که امکان پایش وسیع پوشش گیاهی در سطح واحدهای اکولوژیک بزرگ، مراتع گسترده و حوزه‌های آبخیز را در بازه‌های زمانی مختلف فراهم کرده و تحلیل تغییرات مکانی-زمانی پوشش گیاهی را امکان‌پذیر می‌سازند. تصویربرداری معمولاً تحت شرایط نوری یکنواخت و زاویه دید قائم انجام می‌شود تا اثر سایه، تغییرات تابش و خطاهای هندسی کاهش یابد. رعایت این اصول سبب افزایش دقت استخراج پارامترهای کمی پوشش گیاهی می‌شود.

پس از برداشت داده‌ها، تصاویر وارد محیط نرم‌افزارهای تخصصی پردازش تصویر و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی نظیر ArcGIS، ENVI، ImageJ یا نرم‌افزارهای یادگیری ماشین می‌شوند. در مرحله تحلیل، با استفاده از تکنیک‌هایی مانند: تفکیک طیفی و رنگی، آستانه‌گذاری دیجیتال، طبقه‌بندی نظارت‌شده و بدون نظارت و استخراج ویژگی‌های شیء مبنا^۲ پیکسل‌های پوشیده از گیاه از سطوح فاقد پوشش شامل خاک لخت،

¹ Unmanned Aerial Vehicle Systems (UAV systems)

² Object-based analysis

سنگ یا بقایای غیرگیاهی تفکیک می‌شوند. نسبت سطح اشغال شده توسط پوشش گیاهی به کل سطح تصویر، درصد پوشش گیاهی را به صورت کمی محاسبه می‌کند.

اهمیت این روش در مطالعات فرسایش خاک آن است که شاخص‌های استخراج شده از تصویر، مستقیماً با سازوکارهای مهار فرسایش مرتبط هستند. پارامترهایی نظیر تراکم تاج پوشش، یکنواختی استقرار گونه‌ها، پیوستگی پوشش سطحی، زبری میکروتوپوگرافی و درصد خاک لخت، تعیین کننده میزان کاهش انرژی جنبشی قطرات باران، محدود شدن فرسایش پاشمانی و کاهش تولید رواناب سطحی هستند. بنابراین، تحلیل تصویر امکان مقایسه کمی توان حفاظتی گونه‌های گیاهی بومی در مهار فرسایش را فراهم می‌سازد.

یکی از مزایای کلیدی روش عکس برداری دیجیتال، تکرارپذیری زمانی و قابلیت پایش روندهای دینامیک پوشش گیاهی است. ثبت تصاویر در دوره‌های زمانی مشخص اجازه می‌دهد اثر عوامل مدیریتی نظیر چرای دام، عملیات احیای مرتع، تغییرات اقلیمی یا اقدامات بیولوژیک مهار فرسایش به صورت مستند و قابل اندازه گیری ارزیابی شود.

در مقیاس‌های وسیع تر، استفاده از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای امکان تحلیل مکانی- زمانی پوشش گیاهی را فراهم می‌کند. استخراج شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی مانند NDVI، SAVI و EVI اطلاعات ارزشمندی درباره تراکم زیست توده، فعالیت فتوسنتزی و سلامت پوشش گیاهی ارائه می‌دهد. این شاخص‌ها به طور غیرمستقیم ظرفیت حفاظتی پوشش گیاهی در برابر فرسایش آبی را نشان داده و امکان تهیه نقشه‌های حساسیت فرسایشی در سطح حوزه آبخیز را فراهم می‌کنند (یوسفی‌روشن و عمونیا، ۱۴۰۱).

شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی

شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^۱: براساس رابطه (۳-۴) محاسبه می‌شود (Zhao و Qu، ۲۰۲۴).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3-4)$$

شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی پرکاربردترین شاخص سنجش از دور برای پایش پوشش گیاهی است. این شاخص براساس تفاوت بازتاب طیفی در باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و قرمز (Red) محاسبه می‌شود.

^۱ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

گیاهان سالم نور قرمز را جذب و مادون قرمز را بازتاب می‌کنند؛ بنابراین مقادیر بالاتر شاخص تفاضل نرمال شده نشان‌دهنده تراکم بیشتر، فعالیت فتوسنتزی بالاتر و پوشش گیاهی سالم‌تر است. دامنه مقادیر این شاخص معمولاً به گونه‌ای است که مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده سطوح فاقد پوشش گیاهی یا خاک لخت بوده، در حالی که مقادیر بالاتر، به‌ویژه در بازه حدود ۰/۶ تا ۰/۹، بیانگر وجود پوشش گیاهی متراکم و فعال هستند.

شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده براساس خاک^۱

یکی از شاخص‌های مهم در سنجش از دور است که به منظور کاهش اثر بازتابی خاک در مناطق با پوشش گیاهی کم توسعه یافته است. این شاخص با اصلاح اثر پس‌زمینه خاک، برآورد دقیق‌تری از وضعیت پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک ارائه می‌دهد و به‌ویژه در مراتع و اراضی با تراکم کم پوشش گیاهی کاربرد گسترده‌ای دارد. فرمول محاسبه این شاخص به صورت زیر است (Huite و همکاران، ۱۹۸۸؛ Beniaich و همکاران، ۲۰۱۹؛ Jackson و Menegbo، ۲۰۲۵):

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} (1 + L) \quad (5-3)$$

که در آن NIR بیانگر بازتاب باند مادون قرمز نزدیک، Red بیانگر بازتاب باند قرمز و L ضریب اصلاح اثر خاک است که معمولاً مقدار آن برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

در شرایطی که پوشش گیاهی کم بوده و بخش قابل توجهی از سطح زمین توسط خاک لخت پوشیده شده باشد، بازتاب سطح خاک می‌تواند باعث ایجاد خطا در شاخص‌های ساده‌تری مانند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی شود. در چنین شرایطی، شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده براساس خاک با وارد کردن ضریب اصلاح خاک، اثر زمینه خاک را کاهش داده و تفکیک دقیق‌تری بین پوشش گیاهی و سطح خاک فراهم می‌کند. به همین دلیل، این شاخص به‌طور گسترده در ارزیابی پوشش گیاهی مناطق خشک، نیمه‌خشک و مراتع مورد استفاده قرار می‌گیرد و ابزار مناسبی برای تحلیل وضعیت اکولوژیکی و تغییرات پوشش گیاهی محسوب می‌شود.

^۱ Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی^۱

شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی یکی از شاخص‌های پیشرفته در سنجش از دور است که با هدف بهبود دقت برآورد وضعیت پوشش گیاهی، به‌ویژه در مناطق با تراکم بالای پوشش یا شرایط نوری پیچیده، توسعه یافته است (Matsushita و همکاران، ۲۰۰۷). این شاخص نسبت به شاخص‌های ساده‌تر مانند شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی، توانایی بیشتری در کاهش اثرات مزاحم محیطی نظیر اثرات جو، پراکندگی نور، سایه‌اندازی تاج‌پوشش و اشباع طیفی در پوشش‌های انبوه دارد و به همین دلیل در مطالعات جنگلی و اکوسیستم‌های با پوشش متراکم کاربرد گسترده‌ای دارد. فرمول محاسبه شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی به‌صورت زیر است (Liu و Huete، ۱۹۹۵)

$$EVI = G \times \frac{(NIR - Red)}{(NIR + C_1 Red - C_2 Blue + L)} \quad (۶-۳)$$

که در آن NIR بازتاب باند مادون‌قرمز نزدیک، Red بازتاب باند قرمز و Blue بازتاب باند آبی طیف الکترومغناطیسی است. ضرایب تجربی این شاخص به‌صورت معمول شامل $G=2.5$ به‌عنوان ضریب بهره، $C_1 = 6$ و $C_2=7.5$ برای اصلاح اثرات جو و آئروسول‌ها، و $L=1$ به‌عنوان ضریب اصلاح پس‌زمینه است.

از نظر عملکردی، شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی با بهینه‌سازی پاسخ طیفی در مناطق با پوشش گیاهی متراکم، از اشباع شدن مقادیر شاخص در تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی جلوگیری کرده و حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات ساختاری تاج‌پوشش و میزان زیست‌توده گیاهی نشان می‌دهد. این ویژگی باعث می‌شود شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی در پایش جنگل‌ها، مراتع انبوه و اکوسیستم‌هایی که دارای پوشش گیاهی متراکم هستند، دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های کلاسیک داشته باشد. همچنین این شاخص در تحلیل تغییرات زمانی پوشش گیاهی و ارزیابی سلامت اکوسیستم‌ها ابزار مؤثری محسوب می‌شود، زیرا قادر است تغییرات ظریف در ساختار و تراکم پوشش گیاهی را با حساسیت بیشتری آشکار سازد.

شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی شامل شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی، شاخص تعدیل‌شده اثر خاک و شاخص بهبودیافته پوشش گیاهی ابزارهای استاندارد سنجش از دور برای برآورد کمی تراکم، وضعیت

^۱ Enhanced Vegetation Index (EVI)

فیزیولوژیک و سلامت پوشش گیاهی محسوب می‌شوند. این شاخص‌ها با استفاده از اختلاف بازتاب طیفی در باندهای مرئی و مادون قرمز، امکان پایش مکانی-زمانی پوشش گیاهی و ارزیابی نقش حفاظتی آن در کاهش فرسایش خاک را فراهم می‌کنند.

۳-۲-۴- مدل‌های کمی ارزیابی نقش گیاهان در کاهش فرسایش آبی

مدل‌های کمی فرسایش خاک ابزارهای مهمی برای برآورد میزان فرسایش آبی و ارزیابی اثر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی بر این فرایند به شمار می‌روند. در این میان، نقش پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل مهار فرسایش، در قالب ضرایب و پارامترهای مشخص در این مدل‌ها لحاظ می‌شود. استفاده از مدل‌های کمی این امکان را فراهم می‌کند که اثر گونه‌های گیاهی مختلف، شیوه‌های مدیریت زمین و تغییرات کاربری اراضی به‌صورت عددی و قابل مقایسه بررسی شده و نتایج حاصل در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به‌کار گرفته شود.

۳-۲-۴-۱- استفاده از عامل C در مدل‌های USLE / RUSLE

مدل‌های تجربی معادله جهانی فرسایش خاک^۱ و نسخه توسعه‌یافته^۲ آن از پرکاربردترین مدل‌ها برای برآورد فرسایش آبی خاک هستند (Smith و Wischmeier، ۱۹۷۸؛ سهرابی و همکاران، ۱۴۰۱). در این مدل‌ها، میزان فرسایش سالانه خاک به‌عنوان حاصل ضرب چند عامل اصلی شامل بارندگی، ویژگی‌های خاک، شیب و طول دامنه، عملیات حفاظتی و پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. در این میان، عامل C یا عامل پوشش و مدیریت^۳ نقش کلیدی در نشان دادن اثر پوشش گیاهی و شیوه‌های مدیریتی خاک بر کاهش فرسایش ایفا می‌کند. عامل C بیانگر نسبت فرسایش خاک در شرایط دارای پوشش گیاهی و مدیریت مشخص به فرسایش خاک برهنه و بدون پوشش است. این عامل به‌طور مستقیم تأثیر نوع گیاه، تراکم و ساختار پوشش، مرحله رشد گیاه، بقایای گیاهی سطح خاک و عملیات مدیریتی نظیر شخم و کشت را در بر می‌گیرد. مقدار C عددی بدون بعد

^۱ USLE (Universal Soil Loss Equation)

^۲ RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

^۳ Cover and Management Factor

است که معمولاً بین صفر و یک تغییر می‌کند؛ به‌طوری که مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده پوشش گیاهی بسیار مؤثر با توان بالا در کاهش فرسایش آبی بوده و مقادیر نزدیک به یک بیانگر خاک برهنه یا پوشش بسیار ضعیف است که کمترین نقش حفاظتی را دارد.

در عمل، گونه‌های گیاهی مختلف به‌دلیل تفاوت در ویژگی‌هایی مانند تراکم تاج‌پوشش، شاخص سطح برگ، مقدار بقایای گیاهی، نوع و توسعه سامانه ریشه‌ای، دارای مقادیر متفاوتی از عامل C هستند. برای تعیین مقدار C اختصاصی هر گونه گیاهی، معمولاً از داده‌های حاصل از پلات‌های فرسایش استفاده می‌شود. در این روش، میزان فرسایش اندازه‌گیری شده در پلات‌های دارای پوشش گیاهی مشخص با فرسایش ثبت شده در پلات شاهد (خاک بدون پوشش) مقایسه شده و نسبت آن‌ها به‌عنوان مقدار عامل C محاسبه می‌گردد. این رویکرد امکان مقایسه کمی عملکرد گونه‌های گیاهی مختلف را از نظر توان مهار فرسایش فراهم می‌کند.

استفاده از عامل C در مدل‌های USLE و RUSLE کاربردهای گسترده‌ای در مدیریت منابع طبیعی و حفاظت خاک دارد. با تعیین مقادیر C برای گونه‌های گیاهی مختلف، می‌توان مناسب‌ترین گونه‌ها یا ترکیب‌های پوشش گیاهی را برای مهار فرسایش در اراضی کشاورزی، مراتع و حوزه‌های آبخیز انتخاب کرد. همچنین، این عامل نقش مهمی در ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی، سناریوهای مدیریتی و برنامه‌های احیای پوشش گیاهی ایفا می‌کند.

مطالعات پایه‌ای Smith و Wischmeier (۱۹۷۸) نشان داده‌اند که عامل C یکی از حساس‌ترین پارامترهای مدل USLE/RUSLE است و تغییرات آن می‌تواند تأثیر چشمگیری بر برآورد نهایی فرسایش خاک داشته باشد. از این‌رو، تعیین دقیق این عامل برای پوشش‌های گیاهی مختلف، گامی اساسی در افزایش دقت پیش‌بینی فرسایش و طراحی راهکارهای مؤثر حفاظت خاک محسوب می‌شود.

۳-۲-۴-۲- مدل فرآیندی پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی^۱

مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی یک مدل فرآیندی پیشرفته و فیزیکی-ریاضی است که برای شبیه‌سازی فرسایش آبی خاک در مقیاس‌های مختلف، از جمله زمین‌های کشاورزی، مراتع و حوزه‌های آبخیز کوچک،

^۱ WEPP (Water Erosion Prediction Project)

توسعه یافته است. برخلاف مدل‌های تجربی مانند USLE/RUSLE که بر پایه روابط تجربی و پارامترهای کلی کار می‌کنند، مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی مکانیزم‌های فیزیکی فرسایش و رواناب را به صورت فرآیندی و جزئی شبیه‌سازی می‌کند و بنابراین امکان تحلیل دقیق‌تر تأثیر عوامل محیطی و پوشش گیاهی بر فرسایش را فراهم می‌سازد. یکی از ویژگی‌های برجسته این مدل، قابلیت شبیه‌سازی چندین فرآیند همزمان و مرتبط با فرسایش است. این مدل قادر است رواناب سطحی، فرسایش بین‌شیاری و شیاری و رسوب‌گذاری را به صورت جداگانه و با در نظر گرفتن اثرات متقابل آن‌ها پیش‌بینی کند. این شبیه‌سازی شامل برهم‌کنش‌های پیچیده‌ای مانند انرژی ضربه‌ای باران، نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب خاک، زبری سطح، شیب و طول دامنه و اثرات مدیریت زمین می‌شود. در مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی، ویژگی‌های فیزیکی گیاهان نقش بسیار مهمی در کاهش فرسایش دارند. پارامترهایی مانند:

- تاج‌پوشش گیاه که بر کاهش انرژی ضربه‌ای باران و توزیع رواناب تأثیر دارد.
 - ویژگی‌های ریشه^۱ که موجب افزایش انسجام خاک و مقاومت در برابر گسیختگی می‌شود.
 - بقایای سطحی و لاشبرگ^۲ که به کاهش سرعت رواناب و تثبیت ذرات خاک کمک می‌کند.
- همه در مدل به طور صریح در محاسبات گنجانده می‌شوند. این قابلیت، مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی را به ابزاری بسیار مناسب برای مقایسه عملکرد گونه‌های گیاهی مختلف و ارزیابی توان آن‌ها در مهار فرسایش آبی تبدیل می‌کند. با وارد کردن داده‌های مربوط به تراکم پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، ارتفاع و خصوصیات ریشه، می‌توان تأثیر هر گونه گیاهی را بر کاهش رواناب و فرسایش برآورد کرد و گونه‌های مؤثرتر برای تثبیت خاک را شناسایی کرد.

مطالعات Nearing و همکاران (۲۰۰۵) نشان داده‌اند که مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی به دلیل رویکرد فرآیندی و امکان تفکیک اثرات عوامل مختلف، در تحلیل‌های مدیریت خاک، طراحی اقدامات حفاظتی و انتخاب گونه‌های گیاهی حفاظتی عملکرد بسیار قابل اعتماد و دقیقی دارد. علاوه بر این، قابلیت شبیه‌سازی در شرایط مختلف بارندگی و شیب، امکان بررسی سناریوهای مدیریتی و پیش‌بینی اثر تغییرات اقلیمی بر فرسایش

¹ Root Properties

² Surface Residues & Litter

را نیز فراهم می‌کند، که این ویژگی آن را به یکی از ابزارهای اصلی در مطالعات علمی و برنامه‌ریزی حفاظتی تبدیل کرده است.

۳-۲-۵- ارزیابی کمی توانایی کاهش فرسایش گونه‌های گیاهی براساس خصوصیات اندام‌های هوایی و زیرزمینی

۳-۲-۵-۱- مطالعات آزمایشگاهی و عملیات صحرائی

در ابتدا تیپ‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه براساس گونه‌های غالب و به روش فیزیونومیک-فلورستیک تفکیک می‌شوند. در این روش تیپ گیاهی می‌توانند با توجه به ترکیب گیاهان منطقه و ساختار آن‌ها طبقه‌بندی شوند.

۳-۲-۵-۱-۱- انتخاب محل نمونه‌برداری از گیاه

در این مرحله از پژوهش بهتر است مناطقی که دارای فراوانی قابل توجه از اشکال فرسایش و یا شکل فرسایش خاص هستند تفکیک شوند. در این محدوده‌ها تشکیل و توسعه اشکال فرسایش یا شکل خاصی از فرسایش مانند شیاری و خندقی نسبت به مناطق دیگر گسترده‌تر بوده به‌طوری که از مناطق همجوار بتوان آن را تفکیک کرد. براساس ویژگی‌های اشکال فرسایش نیز می‌توان محدوده را به واحدهای جزئی‌تر تقسیم کرد.

۳-۲-۵-۱-۲- ارزیابی گونه‌ها و الگوی پراکنش گیاهان با استفاده از روش ترانسکت^۱

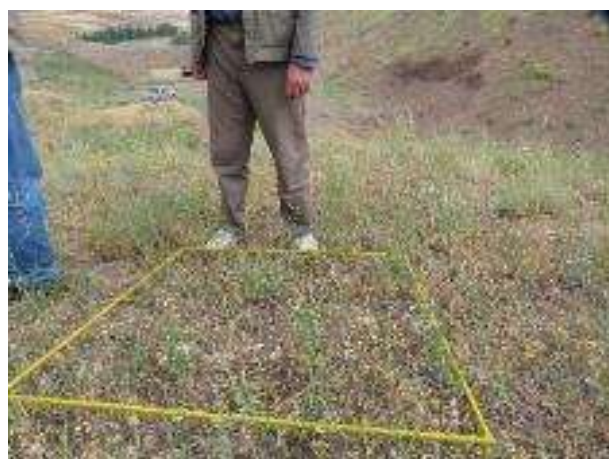
روش ترانسکت یکی از رایج‌ترین و کارآمدترین روش‌های میدانی برای شناسایی و ارزیابی پوشش گیاهی و گونه‌ها در یک منطقه است. در این روش، یک خط مستقیم (ترانسکت) به طول مشخص از یک نقطه شروع تا نقطه پایان تعیین می‌شود و در طول این خط، نمونه‌برداری از گیاهان یا سایر شاخص‌های محیطی انجام می‌گیرد. می‌توان از روش‌های متفاوتی مانند پراکندگی نمونه‌ها در فواصل معین یا بررسی نقطه‌ای^۲ (نقاط

^۱ Transect Method

^۲ Point Intercept

چک‌پوینت) برای ثبت حضور یا تراکم گونه‌ها استفاده کرد. در مطالعات اکولوژیک و محیط زیستی، روش بررسی نقطه‌ای به‌عنوان یکی از تکنیک‌های جمع‌آوری داده‌ها استفاده می‌شود. در این روش، نقاط مشخصی در یک منطقه انتخاب می‌شوند و ویژگی‌های گیاهی یا خاکی در این نقاط بررسی می‌شود. این روش معمولاً برای ارزیابی پوشش گیاهی یا شناسایی گونه‌های گیاهی در مناطق مختلف کاربرد دارد (مقدم، ۱۳۷۹؛ مارتین و کاکر، ۱۳۸۰).

به‌عنوان مثال می‌توان برای اندازه‌گیری ویژگی‌های پوشش گیاهی ترانسکت‌هایی به طول ۵۰ متر در امتداد طول دامنه تعیین و در روی هر یک از ترانسکت‌ها، ۱۰ پلات (قاب) یک مترمربعی مشبک‌شده برای اندازه‌گیری تراکم و تاج‌پوشش گیاهی، با فواصل مشخص (با استفاده از اعداد تصادفی) از یکدیگر مستقر کرد. بعد از استقرار پلات‌های یک مترمربعی می‌توان نمونه‌های گیاهی تهیه کرد و پارامترهایی نظیر درصد تاج‌پوشش گونه‌ها و تراکم را اندازه‌گیری کرد (شکل ۳-۹). این روش امکان بررسی الگوی مکانی، تراکم، تنوع و پراکنش گونه‌ها را به‌صورت منظم و قابل تکرار فراهم می‌کند و به‌ویژه در مناطق وسیع یا دشوار برای جمع‌آوری داده‌های جامع پوشش گیاهی، بسیار مفید است. در این مطالعات که مرتبط با مهار فرسایش است، ترانسکت به محققان اجازه می‌دهد تا تغییرات پوشش گیاهی و تراکم گونه‌ها در طول شیب‌ها و نواحی مختلف را با دقت اندازه‌گیری کرده و در مراحل بعد نقش گونه‌های مختلف را در تثبیت خاک و کاهش فرسایش ارزیابی کنند.



شکل ۳-۹- استقرار پلات یک مترمربعی و تهیه نمونه‌های هربار بومی

به منظور انجام اندازه گیری و کمی سازی ویژگی های اندام های هوایی و زیرزمینی گیاهان بومی و مهم منطقه می توان گیاهان با فراوانی بیش از ۱۰ درصد را انتخاب کرد؛ از هر نمونه سه تا پنج نمونه گیاهی با اندازه متوسط انتخاب شده و اندازه گیری های صحرایی و آزمایشگاهی انجام می شود. از هر گونه گیاه نمونه های تهیه و برای شناسایی به هرباریوم یا آزمایشگاه مراکز علمی معتبر منتقل می شود. پس از انتخاب نمونه های اصلی از میان گونه های گیاهی منطقه، گیاهان براساس فرم رویشی^۱ و ویژگی های فیزیونومیک^۲ شامل ساختار اندامی، میزان چوبی یا علفی بودن و نحوه رشد، در گروه های مختلفی از جمله گراس ها، گیاهان بوته ای، درختچه ای و درختی طبقه بندی می شوند.

در پژوهش موردی که انجام گرفت، توانایی گیاهان بومی منطقه در مهار فرسایش بخصوص شیاری و خندقی با استفاده از خصوصیات اندام های هوایی و زیرزمینی گیاهان مورد ارزیابی قرار گرفت. توانایی گیاهان در مهار فرسایش برای ۳۶ گونه گیاهی در منطقه برآورد شد. در ابتدا ویژگی های اندام های هوایی و زیرزمینی گیاهان اندازه گیری شد و جهت محاسبه مقادیر شاخص های تراکم ساقه، توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوب و ذرات آلی^۳، ضریب کشسانی ساقه ها، گشتاور ماند ساقه، تراکم ریشه، توزیع قطر ریشه، نسبت سطح مقطع ریشه ها و مقاومت کششی ریشه مورد استفاده قرار گرفت. سپس پنج شاخص به نام های تراکم ساقه (SD)، توانای ریشه گیاه در کاهش فرسایش خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی (RSD)، توانای ایجاد مانع در مقابل رسوبات (SOP)، شاخص سفتی گیاه (MEI) و چسبندگی ریشه (Cr) محاسبه شد (De Baets و همکاران ۲۰۰۹).

۳-۲-۵-۲- ویژگی کلی گونه های انتخابی

گونه های انتخابی باید بومی منطقه مورد مطالعه باشند. گونه های انتخاب شده دارای رشد خوب بوده و می توانند دارای فرم های رویشی علفی، بوته ای، درختچه ای و یا درختی باشند. گونه ها طوری انتخاب می شوند که سریع رشد کرده و در یک دوره زمانی نسبتاً کوتاه از میزان فرسایش بکاهند (De Baets و همکاران ۲۰۰۶).

¹ Growth form

² Physiognomic characteristics

³ Sediment obstruction potential (SOP)

با توجه به بومی بودن گونه‌ها و تنوع فرم‌های رویشی و شرایط رشد آن‌ها در منطقه مورد مطالعه، وجود دامنه قابل توجهی از تغییرات در اندازه گیاهان در نمونه‌های مشاهده شده امری طبیعی و اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود.

۳-۲-۵-۳- معیارهای انتخاب یک گونه گیاهی برای مهار فرسایش

فلوچارت شکل ۳-۱۰، روش کلی تعیین توانایی گیاهان برای مهار فرسایش خاک را با استفاده از معیارها و شاخص‌های مختلف مبتنی بر خصوصیات گونه‌های گیاهی نشان می‌دهد. این روش برای تحلیل چندمعیاری به منظور انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای مهار اشکال مختلف فرسایش خاک در هر منطقه خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این طریق، توانایی گیاهان برای مقابله با فرسایش خاک به صورت سیستماتیک و براساس معیارهای دقیق ارزیابی می‌شود.

۳-۲-۵-۱- مقاومت بالا در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته^۱

تأثیر ریشه بر مقاومت خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته فرسایشی با استفاده از تراکم ریشه^۲ (RD)، به کیلوگرم در یک مترمکعب خاک) و قطر ریشه (D به متر) به عنوان یک متغیر بیان می‌شود. تراکم ریشه بیانگر مقدار جرم یا حجم ریشه‌های گیاهی موجود در واحد حجم خاک است و نشان می‌دهد که چه میزان از خاک توسط ریشه‌ها اشغال یا نفوذ داده شده است. این شاخص یکی از مهم‌ترین عوامل در ارزیابی مقاومت خاک در برابر فرسایش، به ویژه فرسایش شیاری و جریان متمرکز، محسوب می‌شود.

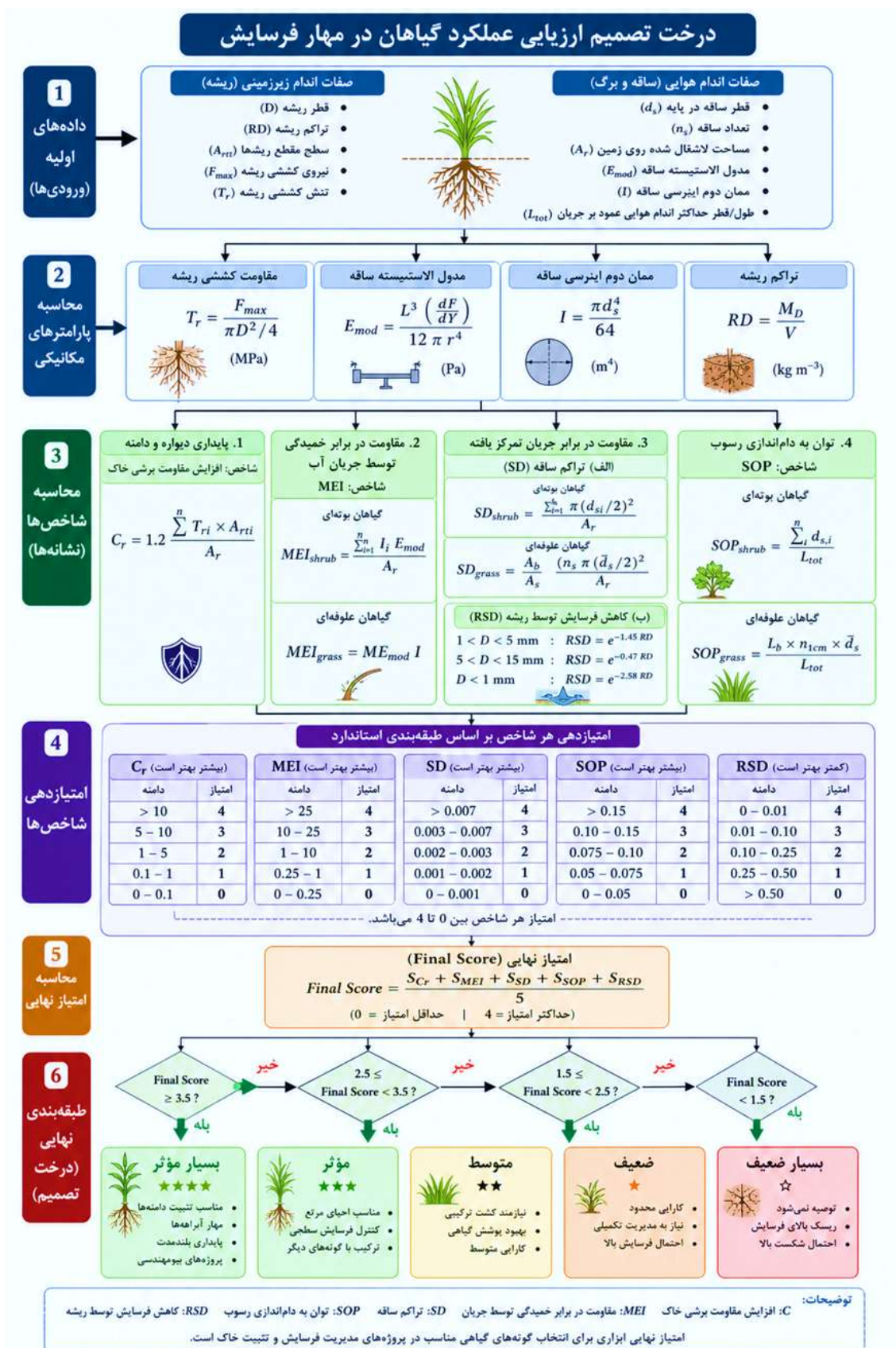
نتایج مطالعات De Baets و همکاران (۲۰۰۷a و ۲۰۰۷b) نشان داد که تأثیر ریشه گیاهان بر میزان فرسایش در جریان رواناب تمرکز یافته به طور توانی با افزایش تراکم ریشه کاهش می‌یابد اما تأثیر قطر ریشه بسیار کمتر است. همچنین تعداد عناصر زبری در واحد سطح (تراکم ساقه) بر سرعت جریان و در نتیجه بر قدرت فرساینده‌گی آن تأثیر می‌گذارد (Kouwen و همکاران، ۱۹۸۱). در این روش توانایی کاهش فرسایش گونه‌های گیاهی در جریان رواناب تمرکز یافته با استفاده از تراکم ریشه (RD)، قطر ریشه (D) در ۱۰-۰

^۱ Concentrated flow erosion

^۲ Root density

سانتی متری خاک سطحی، و تراکم ساقه^۱ (SD: مترمربع بر مترمربع) تعیین می شود. تراکم ساقه (SD) به عنوان یکی از شاخص های مهم ساختاری پوشش گیاهی، نقش قابل توجهی در افزایش مقاومت هیدرولیکی سطح و کاهش اثر تنش برشی جریان آب دارد. این شاخص که به صورت نسبت سطح اشغال شده یا تعداد ساقه ها در واحد سطح تعریف می شود، بیانگر میزان تراکم عناصر زیرکننده در سطح خاک است.

^۱ Stem density



شکل ۳-۱۰- فلوچارت صفات، شاخص‌ها و معیارهای لازم برای ارزیابی توانایی گیاهان در مهار فرسایش

مقادیر تراکم ساقه (SD) به صورت یک شاخص بدون بُعد و براساس اندازه گیری قطر و تعداد ساقه ها و سطح تصویر افقی اندام هوایی برای گونه های مورد مطالعه محاسبه شد، که واحد آن به صورت $m^2 m^{-2}$ (مترمربع بر مترمربع) بیان می گردد. افزایش تراکم ساقه موجب بهبود نقش حفاظتی پوشش گیاهی در برابر جریان سطحی و کاهش پتانسیل فرسایش آبی می گردد، به طوری که سطوح دارای تراکم ساقه (SD) بالاتر از مقاومت بیشتری در برابر جابجایی و برش خاک برخوردار بودند.

۳-۲-۵-۳-۲- توانایی بالا برای پایدارسازی دامنه

به منظور ارزیابی تأثیر گیاهان بر پایداری دامنه ها و یا پایداری دیواره خندق ها مقدار چسبندگی ریشه^۱ (C_r) به کیلوپاسکال)، که نشان دهنده میزان قدرت ریشه در پایدارسازی دامنه است، برآورد می شود. جهت برآورد این پارامتر نسبت مساحت ریشه^۲ (RAR بدون بُعد) و مقاومت کششی ریشه^۳ (T_r به مگاپاسکال) مورد محاسبه قرار می گیرد. در این حالت تأثیر ریشه بر چسبندگی خاک تا عمق $0/3$ تا $0/4$ متر است و این نیز همان عمقی است که دیواره خندق ناپایدار می شود.

۳-۲-۵-۳-۳- آستانه خمیدگی بالا بر اثر جریان آب

شاخص سفتی یا سختی^۴ گیاه که با اصطلاح شاخص سفتی مکانیکی^۵ (MEI) (به نیوتن) به عنوان درجه مقاومت گیاه در مقابل خمیدگی مورد اندازه گیری قرار می گیرد. فرض براین است که هر چقدر ساقه گیاه سفت و سخت تر باشد باعث می شود گیاه در مقابل جریان آب کمتر خمیده شود. به این ترتیب از میزان انرژی آب کاسته می شود و اجازه جدا شدن بیشتر به ذرات خاک نمی دهد.

¹ Root reinforcement effect

² Root area ratio

³ Root tensile strength

⁴ Index of stiffness

⁵ Mechanical Elongation Index (MEI)

۳-۲-۵-۴- توانایی به تله‌انداخت رسوبات و ذرات آلی

در این معیار توانایی ایجاد مانع در مقابل رسوبات و ذرات آلی (متر بر متر) برای ارزیابی قابلیت گیاه در به‌تله‌انداختن رسوب و مواد آلی تعیین می‌شود. گیاهانی که توانایی ایجاد مانع بالاتری دارند، قادر به کاهش سرعت جریان رسوب و مهار فرسایش خاک هستند.

برای مقایسه گونه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین گیاهان برای مهار فرسایش خاک، مقادیر برآوردی برای هر کدام از این شاخص‌ها به امتیاز تبدیل می‌شوند. این امتیازدهی براساس اهمیت هر شاخص بین ۰ تا ۴ تعیین می‌شود، که در آن ۰ به معنی کمترین اثرگذاری و ۴ نشان‌دهنده بیشترین تأثیرگذاری است. پس از امتیازدهی، گونه‌های گیاهی براساس مجموع امتیازات حاصل از شاخص‌ها مقایسه شده و بهترین گزینه‌ها برای مهار فرسایش خاک انتخاب می‌شوند. این روش به‌ویژه در مناطقی که فرسایش خاک یک مشکل جدی است، کاربرد دارد و می‌تواند به‌عنوان ابزاری مهم در مدیریت منابع طبیعی و حفاظت از خاک در برابر فرسایش‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد (De Baets و همکاران، ۲۰۰۹).

۳-۲-۵-۴- برآورد شاخص‌های پنج‌گانه

۳-۲-۵-۱- تراکم ساقه

گیاهان بوته‌ای

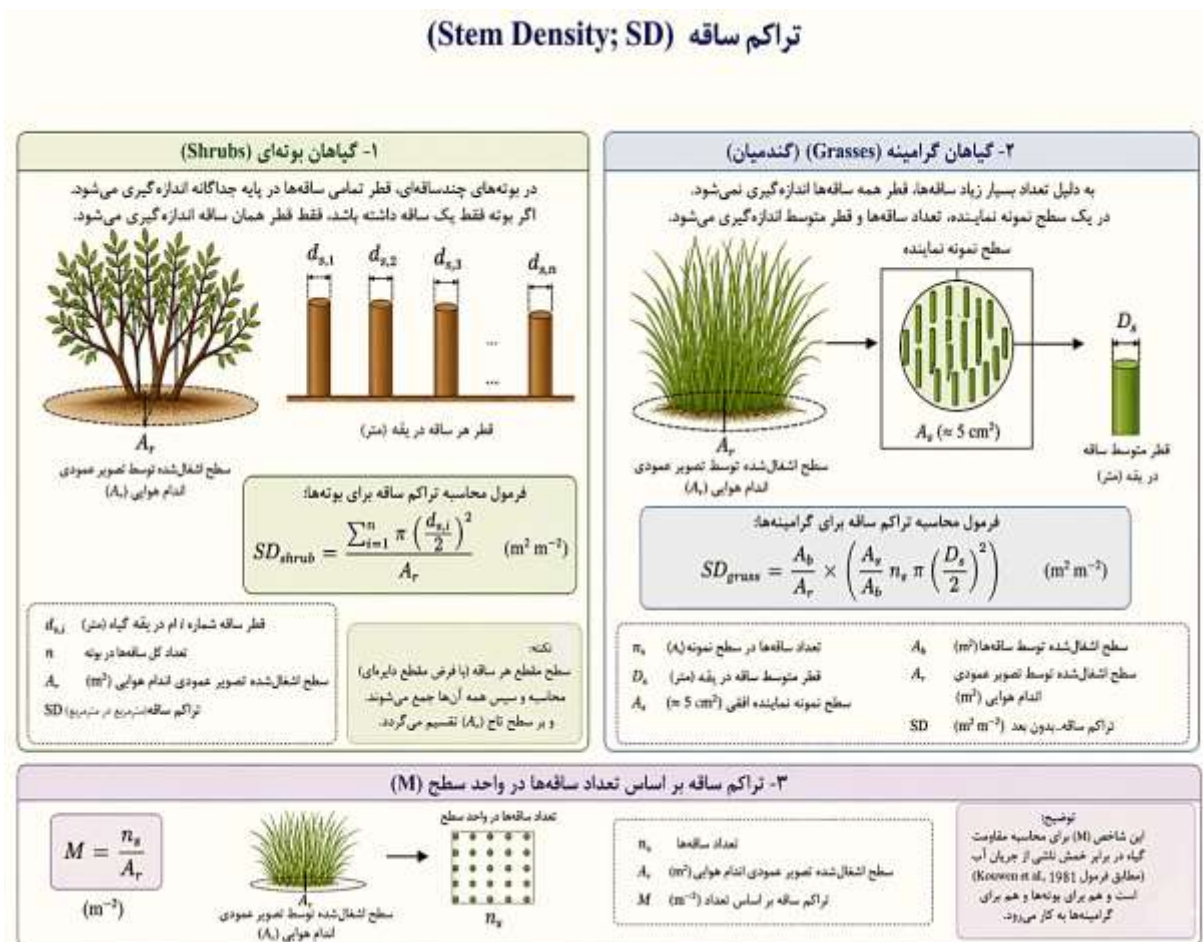
تراکم ساقه برای گیاهان بوته‌ای براساس رابطه (۳-۷) محاسبه می‌شود (Kouwen و همکاران، ۱۹۸۰؛ De Baets و همکاران، ۲۰۰۹):

$$SD_{shrub} = \frac{\sum_i^n \pi (d_{si}/2)^2}{A_r} \quad (۳-۷)$$

در اینجا: d_{si} : قطر ساقه در پایه گیاه (متر)؛ : سطح تصویر قائم اندام هوایی گیاه در سطح زمین (مترمربع) A_r و SD_{shrub} : تراکم ساقه (مترمربع بر مترمربع)، میزان مقاومت گیاه در برابر فرسایش آبی.

در محاسبه تراکم ساقه برای گونه‌های بوته‌ای، نماد $d_{s,i}$ بیانگر قطر هر ساقه به‌صورت مجزا در محل طوقه گیاه است که در آن اندیس i نشان‌دهنده شماره ساقه است. بنابراین در گیاهان بوته‌ای که دارای چند ساقه یا

چند یقه هستند، لازم است قطر تمامی ساقه‌ها به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شود. به بیان دیگر، اگر یک بوته تنها یک ساقه داشته باشد، فقط قطر همان ساقه اندازه‌گیری می‌شود، اما در بوته‌های چندساقه‌ای، قطر هر یک از ساقه‌ها به‌صورت مستقل ثبت شده و سپس سطح مقطع هر ساقه با فرض مقطع دایره‌ای محاسبه می‌شود. مجموع سطح مقطع ساقه‌ها در ادامه بر سطح اشغال‌شده توسط تصویر عمودی اندام هوایی گیاه (A_r) تقسیم می‌شود تا شاخص تراکم ساقه (SD) به‌عنوان معیاری از مقاومت پوشش گیاهی در برابر جریان آب و فرسایش به‌دست آید. این روش امکان برآورد دقیق‌تر اثر واقعی گیاه در ایجاد مانع هیدرولیکی را فراهم می‌کند، زیرا مقاومت گیاه تنها تابع تعداد ساقه‌ها نبوده و به قطر و سطح مقطع واقعی آن‌ها نیز وابسته است. در مقابل، در گیاهان گندمیان به‌دلیل تعداد بسیار زیاد ساقه‌ها، اندازه‌گیری تک‌تک قطرهای عملی نیست؛ از این‌رو قطر متوسط ساقه در یک سطح نمونه نماینده اندازه‌گیری و برای محاسبه تراکم ساقه استفاده می‌شود (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۱- مراحل عملی اندازه‌گیری صفات گیاهان (گندمیان و بوته‌ای) و برآورد شاخص تراکم ساقه در آن‌ها

تراکم ساقه برای گندمیان (گراس‌ها)^۱

در این گروه از گیاهان، قطر تمامی ساقه‌ها به‌طور جداگانه قابل اندازه‌گیری است، اما به‌منظور تسهیل و تسریع فرایند اندازه‌گیری، می‌توان یک سطح چند سانتی‌متر مربعی از ساقه‌های پایه‌ای گیاه را به‌عنوان نمونه انتخاب کرد (A_s : به مترمربع). سپس در بخش انتخاب‌شده (به عنوان مثال: سطح ۵ سانتی‌متر مربعی) تعداد ساقه‌ها (n_s) و قطر متوسط آن‌ها در پایه گیاه ($\bar{d}_s$: به متر) تعیین کرد. کسر سطح نمونه (A_s : به مترمربع) نسبت به مساحت اشغال‌شده توسط ساقه گیاه در پایه (A_b : به مترمربع) و همچنین سطح اشغال توده هوایی خاک (براساس تصویر قائم بیوماس بالای سطح زمین (A_r : به مترمربع)) برآورد می‌شود، در نهایت تراکم کل ساقه برای گیاهان گندمیان (SD_{grass} : مترمربع بر مترمربع) بشرح زیر انجام می‌شود (Kouwen و همکاران، ۱۹۸۰؛ De Baets و همکاران، ۲۰۰۹):

$$SD_{grass} = \frac{\frac{A_b(n_s \times \pi(\frac{\bar{d}_s}{2}))^2}{A_s}}{A_r} \quad (۸-۳)$$

n_s : تعداد ساقه‌ها در یک قطعه افقی به مساحت A_s ؛ $\bar{d}_s$: قطر متوسط ساقه در پایه گیاه (به متر)؛ A_b : مساحت اشغال‌شده توسط ساقه‌های یک گیاه از نوع گراس (به مترمربع)؛ A_r : مساحت کل اشغال‌شده توسط تصویر قائم از اندام هوایی گیاه بر روی زمین (مترمربع).

به‌منظور تخمین میزان مقاومت گیاه در مقابل جریان آب براساس تراکم ساقه‌ای می‌توان از فرمول

Kouwen و همکاران، ۱۹۸۱، به‌شرح زیر استفاده کرد:

$$M = \frac{n_s}{A_r} \quad (۹-۳)$$

در اینجا: M : تراکم ساقه برای گیاهان گندمیان (مترمربع)؛ n_s : تعداد ساقه‌ها و A_r : مساحت کل اشغال‌شده توسط تصویر قائم از اندام هوایی گیاه بر روی زمین (مترمربع)

^۱ Grasses

۳-۲-۵-۴-۲- توانایی ایجاد مانع برای رسوب و ذرات آلی

توانایی ایجاد مانع در مقابل جریان رسوب و ذرات آلی به صورت ظرفیت جمع کنندگی گیاه در مقابل جریان فرضی یک طرفه محاسبه می شود. این شاخص برای گیاهان بوته ای بر حسب نسبت مجموع قطر ساقه ها در پایه گیاه به طولی که در تصویر قائم گیاه در جهت عمود بر جریان آب برآورد می شود. در تعیین جهت اصلی جریان می توان از ویژگی های توپوگرافیکی محدوده گیاه استفاده کرد:

$$SOP_{shrub} = \frac{\sum d_{s,i}}{L_{tot}} \quad (۱۰-۳)$$

در اینجا: SOP_{shrub} : توانایی انسداد جریان رسوب (متر بر متر)؛ d_{si} : قطر ساقه در طوقه گیاه (متر) و L_{tot} : طول یا قطر بیشینه اندام هوایی گیاه در روی خط عمود بر جریان آب (متر) که بر روی تصویر قائم اندام هوایی گیاه بر روی زمین اندازه گیری شده است.

برای گیاهان گندمیان، توانایی گیاه برای ایجاد مانع از تعداد ساقه ها و میانگین قطر ساقه ها برای یک واحد طول (به عنوان مثال ۰/۰۱ متر) برآورد می شود. سپس توانایی جمع کنندگی براساس رابطه زیر تخمین زده می شود:

$$SOP_{grass} = \frac{L_b \times n_{1\text{ cm}} \times \bar{d}_s}{L_{tot}} \quad (۱۱-۳)$$

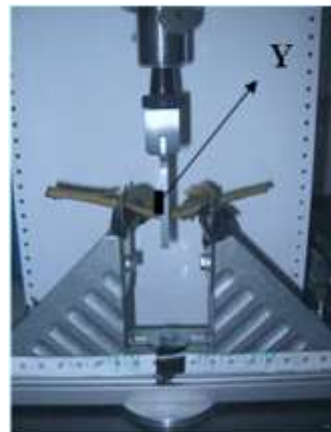
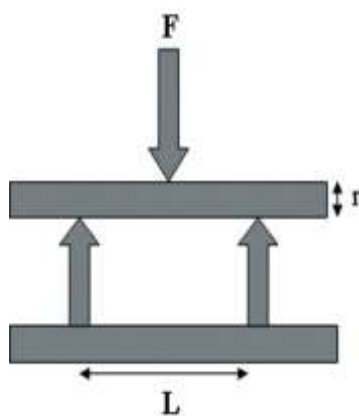
در اینجا: $n_{1\text{ cm}}$: تعداد ساقه ها در واحد طول ۱ سانتی متر؛ L_b : طول اشغالی بوسیله ساقه ها در روی خط افقی عمود بر جهت جریان در پایه گیاه (متر) و $\bar{d}_s$: قطر متوسط ساقه (متر) و L_{tot} : طول یا قطر (متر) بیشینه اندام هوایی گیاه در روی خط عمود بر جریان آب که بر روی تصویر قائم اندام هوایی گیاه بر روی زمین اندازه گیری می شود.

۳-۲-۵-۴-۳- سفتی یا سختی گیاه

در این روش به منظور ارزیابی مقاومت گیاهان در مقابل خمیدگی در برابر جریان، شاخصی بنام سفتی یا سختی گیاه براساس رابطه (۱۲-۳) محاسبه می شود:

$$E_{mod} = \frac{L^3 (dF/dY)}{12\pi r^4} \quad (۱۲-۳)$$

در اینجا: E_{mod} : مدول الاستیسته، خصوصیت مواد را نشان می‌دهد و براساس آزمون تعیین میزان خمیدگی ساقه به روش سه نقطه‌ای تعیین می‌گردد؛ L : فاصله بین دو نقطه ثابت در دستگاه اندازه‌گیری خمیدگی ساقه (متر)؛ F : نیروی وارده به نمونه (نیوتن)؛ Y : میزان جابجایی در جهت عمودی (متر) و r : شعاع ساقه (متر) برای اندازه‌گیری میزان خمیدگی ساقه گیاهان در اثر نیروی ناشی از جریان آب، از دستگاه‌های خاصی استفاده می‌شود که قادرند نیروی وارد شده به ساقه را ثبت کرده و میزان تغییر شکل یا خمیدگی آن را در برابر جریان‌های آبی اندازه‌گیری کنند. این دستگاه‌ها معمولاً شامل حسگرهای نیرو و مکانیزم‌هایی هستند که به‌طور دقیق نیروی وارد شده و زاویه خمیدگی را اندازه‌گیری کرده و نتایج را به‌صورت کمی گزارش می‌دهند. این اندازه‌گیری‌ها برای ارزیابی مقاومت گیاهان در برابر فرسایش خاک و بررسی اثرات شرایط محیطی بر استحکام گیاهان بسیار کاربردی هستند (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲- دستگاه اندازه‌گیری میزان خمیدگی ساقه

در آزمایش خمشی سه‌نقطه‌ای، F نیروی وارد شده (بر حسب نیوتن)، Y جابجایی (بر حسب متر)، r شعاع ساقه (بر حسب متر) و L طول فاصله بین نقاط ثابت دستگاه (بر حسب متر) است. روش کار این دستگاه‌ها به‌طور کلی شامل اعمال یک نیروی مشخص بر ساقه گیاه است تا میزان خمیدگی آن اندازه‌گیری شود. هرچه گیاه سفت‌تر باشد، مقاومت بیشتری در برابر خمیدگی نشان می‌دهد و در نتیجه، توانایی بیشتری در جلوگیری از فرسایش خاک دارد.

برای هر گونه گیاهی پنج نمونه از ساقه به طول ۱۰/۰ تا ۱۵/۰ متر انتخاب و بوسیله دستگاه آزمون خمیدگی سه نقطه‌ای^۱ مورد آزمایش قرار گرفت. توزیع قطر ساقه در گراس‌ها یکسان نیست و برای همین هم، برای محاسبه سفتی گیاه در مقابل خمیدگی از رابطه (۳-۱۳) استفاده می‌شود:

$$MEI_{grass} = ME_{mod} l \quad (۳-۱۳)$$

در اینجا: M : تعداد ساقه‌ها در واحد سطح (تعداد ساقه‌ها در سطح تصویر قائم از اندام هوایی گیاه مربوطه)، تراکم ساقه بر حسب عکس مجذور متر براساس رابطه (۳-۹) به دست می‌آید. E_{mod} : میانگین شاخص خمیدگی ساقه‌ها (به پاسکال) و l : ممان دوم اینرسی برای ساقه‌های با مقطع دایره‌ای برابر است با (m^4):

$$l = \frac{\pi d_s^4}{64} \quad (۳-۱۴)$$

d_s : قطر متوسط ساقه در یقه گیاه (متر)؛ برآورد مقاومت گیاهان بوته‌ای در مقابل خمیدگی در برابر جریان از رابطه (۳-۱۵) استفاده می‌شود:

$$MEI_{shrub} = \frac{\sum_i^n I_i E_{mod}}{A_r} \quad (۳-۱۵)$$

در اینجا: I_i : ممان دوم اینرسی برای هر ساقه (m^4)؛ E_{mod} : میانگین شاخص خمیدگی ساقه‌ها (به پاسکال) و A_r : مساحت اشغال شده توسط تصویر قائم از اندام هوایی گیاه بر روی زمین (مترمربع).

برای هر گیاه پنج نمونه انتخاب و بعد از تعیین درجه سفتی آن‌ها از میانگین مقادیر به دست می‌آید و به منظور معرفی شاخص سفتی و سختی گیاه استفاده می‌شود.

۳-۲-۵-۴- توانایی کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته (RSD)

به طور کلی می‌توان برای پیش‌بینی تأثیر گونه‌های مختلف گیاهی با ریشه‌هایی به قطرهای مختلف از رابطه

(۳-۱۶) استفاده می‌شود:

$$RSD = e^{-1.45 RD} \times e^{-0.47 RD} \quad (۳-۱۶)$$

$1 < D < 5 \quad 5 < D < 15$

^۱ Three-point bending test

در اینجا: RSD: توانایی ریشه در کاهش فرسایش ناشی از جریان متمرکز^۱ (بدون بُعد)؛ D: میانگین قطر ریشه (متر) و RD: تراکم ریشه (وزن ریشه به کیلوگرم بر حجم خاک به مترمکعب).

تراکم ریشه برحسب رابطه (۳-۱۷) محاسبه شد:

$$RD = \frac{M_D}{V} \quad (۳-۱۷)$$

در اینجا: M_D : جرم ریشه به کیلوگرم که در آون در دمای ۶۰ تا ۶۵ درجه در مدت ۲۴ ساعت خشک می‌شود. V: حجم خاک حاوی ریشه به مترمکعب.

برای گیاهانی با قطر ریشه کمتر از ۱ میلی متر ($D < 1 \text{ mm}$) مانند جومیش^۲ و بارهنگ^۳ از رابطه (۳-۱۸) استفاده می‌شود:

$$RSD = e^{-2.58 RD} \quad (۳-۱۸)$$

۳-۲-۵-۴-۵- توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها

به‌منظور تعیین توان ریشه گونه‌های گیاهی در افزایش پایداری دیواره‌های آبراهه‌ها و یا خندق‌ها دو پارامتر مقاومت کششی ریشه^۴ (T_r) و نسبت سطح ریشه^۵ (RAR) برآورد می‌گردد. تأثیر تقویتی ریشه گیاهان در مهار فرسایش مانند فرسایش خندقی باید برای خاک‌های عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری باشد. معمولاً شروع ناپایداری دیواره خندق‌ها نیز در این عمق‌ها صورت می‌گیرد.

مقاومت کششی ریشه گیاهان

برای هر کدام از گونه‌های گیاهی انتخاب‌شده باید دست‌کم پنج نمونه ریشه سالم با قطرهای متفاوت و با کمینه ۱۰ سانتی‌متر طول انتخاب شود. به‌منظور برداشت نمونه ریشه و تعیین ویژگی‌های آن نیاز به حفاری است. حفاری برای بررسی و برداشت نمونه از ریشه در محل گیاهانی انجام می‌شود که دارای شرایط زیستگاهی مشابه بوده و در اندازه متوسط باشند. روش برداشت نمونه به دو حالت زیر انجام می‌گیرد: بعد از حفاری در

^۱ Relative Soil Detachment

^۲ *Bromus*

^۳ *Plantago*

^۴ Root tensile strength (T_r)

^۵ Root area ratio (RAR)

محل گیاه انتخاب شده، ریشه‌ها در یک کیسه پلاستیکی جمع آوری و شماره‌گذاری می‌شوند. بلافاصله بعد از برداشت نمونه باید در فاصله چند روز مورد آزمایش قرار گیرند. در مواردی که امکان آزمایش نمونه‌ها وجود نداشته باشد و به آینده موکول شود، تا زمان آزمایش باید در محلول ۱۵ درصد از الکل اتانول نگهداری شوند. در مواردی که تفکیک ریشه‌ها در صحرا امکان پذیر نباشد کل نمونه گیاهی همراه با ریشه و خاک در کیسه پلاستیکی قرار داده شده و همراه با مختصات جغرافیایی و شماره نمونه به آزمایشگاه منتقل می‌شود. در آزمایشگاه نمونه روی تور سیمی قرار داده شد و به دقت با آب معمولی مورد شستشو قرار می‌گیرد تا تمام خاک اطراف تارهای ریشه از آن جدا و از طریق تور فلزی خارج شود (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳- شستشو و آماده‌سازی گونه‌های گیاهی برای اندازه‌گیری صفات گیاهی

اندازه‌گیری مقاومت کششی ریشه گیاهان

برای برآورد میزان مقاومت ریشه گیاهان انتخابی از رابطه (۱۹-۳) استفاده می‌شود:

$$T_r = \frac{F_{\max}}{\pi(\frac{D^2}{4})} \quad (19-3)$$

در اینجا: $F_{\max}$: نیروی بیشینه جهت شکست ریشه (به نیوتن)؛ D : میانگین قطر ریشه در محل شکستگی قبل از کشش (به میلی‌متر) و T_r : مقاومت کششی ریشه به مگا پاسکال.

برای اندازه‌گیری مقاومت کششی ریشه‌ها، معمولاً از دستگاه‌های تست کشش یا دستگاه‌های اندازه‌گیری نیرو^۱ استفاده می‌شود. این دستگاه‌ها نیروی لازم برای کشیدن یا کشش ریشه گیاه تا نقطه شکست یا خمیدگی را اندازه‌گیری می‌کنند. یکی از این نوع دستگاه‌ها که به نام نیروسنج دیجیتال^۲ شناخته می‌شوند، برای اندازه‌گیری نیروهای کششی و فشاری^۳ طراحی شده‌اند. دستگاه شامل یک حسگر نیرو^۴ و نمایشگر دیجیتال است که نیروهای اعمال‌شده بر نمونه (مثلاً ریشه یا ساقه گیاه) را به صورت عددی نشان می‌دهد. این ابزارها مستقیماً نیروی لازم برای کشش یا خمیدگی نمونه را ثبت می‌کنند، که مبنای محاسبه مقاومت کششی یا سفتی مکانیکی هستند (شکل ۳-۱۴).



شکل ۳-۱۴- دو نوع دستگاه اندازه‌گیری مقاومت کششی ریشه

^۱ Force Test Machines

^۲ Digital Force Gauge

^۳ Push-Pull

^۴ Load Cell

محاسبه تراکم ریشه

به منظور برآورد تراکم طولی ریشه^۱ از رابطه (۲۰-۳) استفاده می‌شود:

$$RLD = \frac{L_R}{V} \quad (20-3)$$

در اینجا: RLD: تراکم طول ریشه (کیلومتر به مترمکعب)؛ L_R : طول ریشه زنده (کیلومتر)؛ V : حجم خاکی که ریشه در آن قرار گرفته است (بعد از نمونه برداری از خاک و حمل آن به آزمایشگاه حجم خاک اندازه‌گیری می‌شود (مترمکعب)).

تراکم طولی ریشه بهترین شاخص برای نشان دادن میزان فضای اشغالی توسط ریشه است. این شاخص برای گیاهان علفی می‌تواند حتی نسبت به ریشه درختان بالاتر باشد. این شاخص با در دست بودن قطر متوسط ریشه به راحتی به شاخص نسبت سطح ریشه^۲ قابل تبدیل است (رابطه ۲۱-۳):

$$RAR = RLD \times RCSA \quad (21-3)$$

RCSA: میانگین سطح مقطع ریشه هر یک از گونه‌های انتخاب‌شده (مترمربع)؛ RLD: تراکم طول ریشه (کیلومتر به مترمکعب) و RAR: نسبت مجموع سطح مقطع ریشه‌ها به سطح توده خاک (بدون بُعد). این نسبت برای هر مقطع افقی ۱۰ سانتی‌متری نیز می‌تواند محاسبه شود که برای ارزیابی تغییرات سطح مقطع ریشه در عمق‌های مختلف مناسب است.

محاسبه مقاومت برشی خاک

مقاومت برشی خاک که در حقیقت نشان‌دهنده میزان انسجام و پایداری خاک در مقابل نیروی برشی جریان آب است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_s = C \times \sigma \operatorname{tg} \theta \quad (22-3)$$

در اینجا: S_s : مقاومت برشی خاک (کیلوپاسکال)؛ C : چسبندگی خاک (کیلونیوتن بر مترمربع)؛ θ : زاویه اصطکاک داخلی (درجه) و σ : تنش نرمال در سطح برشی (کیلو نیوتن بر مترمربع).

^۱ Root Length Density

^۲ RAR: Root Area Ratio

اگر تنش برشی (τ) بزرگ‌تر از مقاومت برشی خاک باشد ($\tau \geq S_s$) گسیختگی در خاک دیواره و یا دامنه اتفاق خواهد افتاد. گیاهان بواسطه ریشه خود پیوستگی خاک را افزایش داده و بر مقاومت برشی خاک می‌افزایند:

$$S_r = S_s + C_r \quad (23-3)$$

در اینجا: S_r : مقاومت برشی خاک که با ریشه گیاهان تقویت شده است (کیلوپاسکال)؛ S_s : مقاومت برشی خاک (کیلوپاسکال) و C_r : مقاومت افزوده شده به خاک بواسطه ریشه گیاه (کیلوپاسکال).

مقادیر C_r براساس مقادیر مقاومت کششی ریشه (T_r به کیلوپاسکال) و مقادیر سطح مقطع ریشه‌های گیاه در واحد سطح خاک (RAR) براساس رابطه (۲۴-۳) تعیین می‌شود:

$$C_r = T_r(\sin\theta + \cos\theta \tan\phi) \times RAR \quad (24-3)$$

در اینجا: T_r : تنش کششی کل رشته‌های ریشه در واحد سطح خاک؛ θ : زاویه تغییر شکل ریشه در زون برشی (درجه) و ϕ : زاویه اصطکاک درونی خاک (درجه).

مقادیر داخل پرانتز در رابطه فوق برای بیشتر گونه‌های گیاهی $1/2$ در نظر گرفته می‌شود، پس به‌طور تقریب می‌توان نوشت:

$$C_r \approx 1.2 T_r \times RAR = 1.2 T_r \frac{A_{rt}}{A_r} \quad (25-3)$$

A_{rt} : سطح مقطع کل ریشه‌های اندازه‌گیری شده در خاک (مترمربع)؛ A_r : مساحت مقطع توده خاک (مترمربع). اگر قطر ریشه‌ها متنوع باشند می‌توان از رابطه ۲۶-۳ نیز به جایی رابطه قبلی استفاده کرد:

$$C_r = 1.2 \frac{\sum_i^n T_{ri} \times A_{rti}}{A_r} \quad (26-3)$$

T_{ri} و A_{rti} مقادیر T_r و A_{rt} برای هر طبقه از رده‌های قطر ریشه هستند (طبقه i) و n تعداد طبقات قطر ریشه است. میزان مقاومت برشی اضافه‌شده به خاک توسط ریشه گیاه (C_r) می‌تواند برای هر عمق خاک و حتی برای هر طبقه از رده‌های قطر ریشه نیز محاسبه شود. براساس مقادیر به‌دست‌آمده می‌توان میزان تغییرات مقاومت اضافه‌شده به خاک را در عمق‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

۳-۲-۵-۵- امتیازبندی و ارزیابی مقادیر شاخص‌ها

برای پنج شاخص تراکم ساقه (مترمربع بر مترمربع) (SD)، میزان مقاومت گیاه در برابر نیروی برشی جریان آبی؛ توانایی ایجاد مانع در مقابل جریان رسوب (متر بر متر) (SOP)؛ درجه مقاومت گیاه در مقابل خمیدگی به وسیله جریان آب به صورت سفتی یا سختی گیاه (MEI)؛ توانایی کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته توسط ریشه گیاه (RSD) و مقاومت افزوده شده به خاک به واسطه ریشه گیاه (C_r)، مقادیر محاسبه شده و نتایج در یک فایل ذخیره می‌شود. برای مقایسه توانایی گونه‌ها در مهار و کاهش شدت فرسایش، داده‌های رقومی به امتیاز تبدیل می‌شوند.

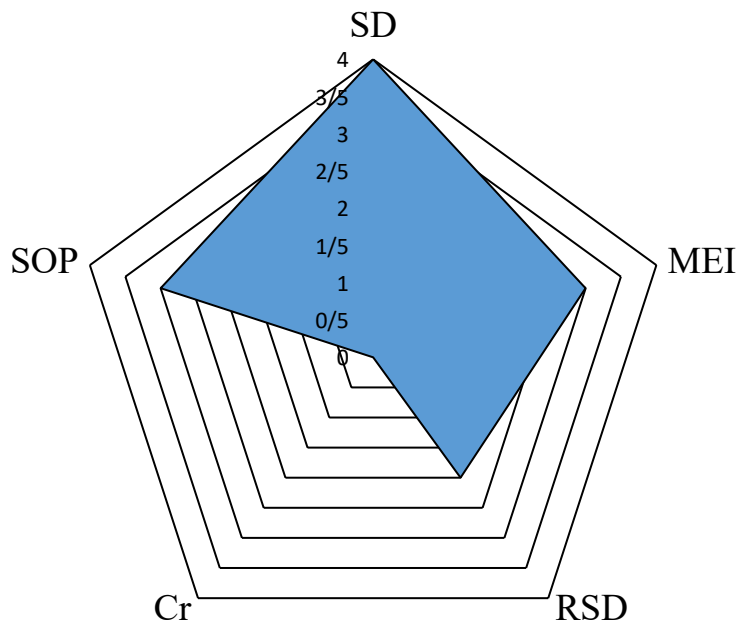
این امتیازات بین ۰ تا ۴ در نظر گرفته شده است. در جدول (۳-۲) محدوده تغییرات مقادیر شاخص‌های محاسباتی و امتیازات ارائه شده است. با مقایسه مقادیر این شاخص‌ها امکان تعیین و ارزیابی توانایی گیاهان مورد مطالعه در مهار و کاهش فرسایش آبی با اشکال مختلف پاشمانی، شیاری و خندقی فراهم می‌شود. هرچقدر امتیاز بالا باشد نشان دهنده توانایی بالای گیاه در مهار فرسایش از جمله فرسایش سطحی، شیاری و خندقی است.

جدول ۳-۲- محدوده تغییرات مقادیر شاخص‌ها و امتیازات مربوطه (De Baets و همکاران، ۲۰۰۹)

درجه	امتیاز	C_r	MEI	RSD	SOP	SD
بسیار پایین	۰	۰/۰ - ۰/۱	۰/۰ - ۰/۲۵	بزرگتر از ۰/۵۰	۰/۰ - ۰/۰۵	۰/۰ - ۰/۰۰۱
پایین	۱	۰/۱ - ۱	۰/۲۵ - ۱	۰/۵۰ - ۰/۲۵	۰/۰۵ - ۰/۰۷۵	۰/۰۰۱ - ۰/۰۰۲
متوسط	۲	۱ - ۵	۱ - ۱۰	۰/۲۵ - ۰/۱۰	۰/۰۷۵ - ۰/۱۰	۰/۰۰۲ - ۰/۰۰۳
بالا	۳	۵ - ۱۰	۱۰ - ۲۵	۰/۱۰ - ۰/۰۱	۰/۱۰ - ۰/۱۵	۰/۰۰۳ - ۰/۰۰۷
بسیار بالا	۴	بزرگتر از ۱۰	بزرگتر از ۲۵	۰/۰ - ۰/۰۱	بزرگتر از ۰/۱۵	بزرگتر از ۰/۰۰۷

برای مقایسه توانایی گیاهان مورد مطالعه، امتیازات هر شاخص برای هر گونه گیاهی در یک دیاگرام ستاره‌ای (راداری و یا آمیبی) با پنج محور مشخص و ترسیم می‌شود. با مقایسه شکل و مساحت اشغالی سطح ترسیم شده در روی این دیاگرام، گونه‌های گیاهی مورد نظر از دیدگاه توانایی آن‌ها برای مهار فرسایش طبقه‌بندی می‌شوند. بر حسب تمایل امتیازات هر گیاه به پنج شاخص فوق موقعیت کاشت و توسعه گیاه در سطح منطقه یا بستر و یا دیواره خندق تعیین می‌شود (شکل ۳-۱۵).

می‌توان برای گروه‌بندی گونه‌های گیاهی طبق امتیازات اختصاص داده شده برحسب پنج شاخص از روش خوشه‌بندی^۱ نیز استفاده کرد. در نهایت گونه‌های گیاهی بومی بر حسب درجه حفاظتی و نوع زیستگاه مناسب طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل ۳-۱۵- نمودار ستاره‌ای نمونه برای مقایسه شاخص‌های محاسبه‌شده برای گونه‌های مختلف

۳-۳- جمع‌بندی کاربردی روش‌ها، شاخص‌ها و مقیاس‌های ارزیابی

در جدول ۳-۳، یک نمای کلی از روش‌های متداول در مطالعه فرسایش خاک و عوامل مؤثر بر آن را در سطوح مختلف (مزرعه، گیاه، حوزه آبخیز و آزمایشگاه) نشان می‌دهد. این جمع‌بندی به‌صورت کاربردی برای کارشناسان، پژوهشگران و مدیران منابع طبیعی و آبخیزداری طراحی شده است تا بتوانند روش مناسب برای هر هدف و مقیاس را انتخاب کنند.

جدول ۳-۳- جمع‌بندی روش‌ها و شاخص‌های ارزیابی فرسایش خاک و نقش پوشش گیاهی

روش	شاخص ارزیابی	مقیاس	تفسیر
پلات فرسایش	تلفات خاک، رواناب	مزرعه	پلات‌های فرسایش به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین و معتبرترین روش‌ها برای اندازه‌گیری تلفات خاک و رواناب در مقیاس کوچک

^۱ Cluster analysis

روش	شاخص ارزیابی	مقیاس	تفسیر
			استفاده می‌شوند. این روش برای ارزیابی تأثیر شیوه‌های کشاورزی مناسب است.
باران مصنوعی	رسوب، شدت رواناب	آزمایشگاهی- میدانی	باران مصنوعی شرایط مهارشده و تکرارپذیر ایجاد کرده و امکان بررسی تأثیر شدت بارندگی و شیب زمین را بر تولید رسوب و رواناب فراهم می‌آورد. این روش در مطالعات آزمایشگاهی و پایلوت کاربرد دارد.
ویژگی‌های پوشش گیاهی	درصد پوشش، شاخص سطح برگ (LAI)	گیاه	درصد پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ از شاخص‌های مهم برای ارزیابی حفاظت خاک توسط پوشش گیاهی هستند. این ویژگی‌ها به کاهش سرعت جریان آب سطحی و کاهش فرسایش خاک کمک می‌کنند.
ساختار ریشه	مقاومت کششی	گیاه	مقاومت کششی ریشه شاخصی مهم برای ارزیابی ثبات خاک و مقاومت آن در برابر فرسایش عمقی است. ریشه‌ها با تثبیت خاک، کاهش لغزش و افزایش ظرفیت نگهداری آب، نقشی کلیدی در مدیریت فرسایش دارند.
مدل‌های تجربی	عامل C، فرسایش سالانه	حوزه آبخیز	مدل‌های فرسایش (مانند RUSLE، MPSIAC و SWAT) به ارزیابی فرسایش سالانه در مقیاس وسیع کمک می‌کنند. شاخص C تأثیر کاربری زمین و پوشش گیاهی را بر فرسایش نشان می‌دهد و در سیاست‌گذاری کاربرد دارد.
معیارها، شاخص‌ها و صفات گیاهان	خصوصیات اندام‌های هوایی و زیرزمینی	گیاه	بررسی ویژگی‌های ساختاری گیاه، از جمله ریشه و ساقه‌ها، به ارزیابی توانایی گیاه در حفاظت از خاک و کاهش فرسایش کمک می‌کند. این اطلاعات برای انتخاب گونه‌های مناسب در تثبیت خاک ضروری است.

روش تعیین کمی توانایی گیاهان در مهار فرسایش براساس خصوصیات توأم اندام‌های هوایی و زیرزمینی، که بر پایه چارچوب پیشنهادی (De Baets و همکاران، ۲۰۰۹)، است، یکی از جامع‌ترین و معتبرترین روش‌ها برای ارزیابی توانایی گیاهان در مهار فرسایش سطحی، شیاری، خندقی و حتی توده‌ای به شمار می‌رود؛ زیرا برخلاف بسیاری از مطالعات که تنها بر پوشش اندام هوایی تمرکز دارند، این روش به‌صورت همزمان و کمی نقش اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان را در فرآیندهای مهار فرسایشی در نظر می‌گیرد. با توجه به اینکه با توسعه فرسایش از اشکال سطحی به شیاری و خندقی، نقش اصلی مهار فرسایش از تاج‌پوشش گیاهی به ریشه گیاهان منتقل می‌شود، این رویکرد چندمعیاری امکان سنجش واقعی توان حفاظتی گونه‌ها را فراهم می‌سازد. مزیت اصلی این روش، نیاز به داده‌های قابل اندازه‌گیری، امکان مقایسه گونه‌های مختلف، قابلیت کاربرد در

فرم‌های رویشی متنوع (علفی، بوته‌ای، درختچه‌ای و درختی) و توان بالای آن در اولویت‌بندی و انتخاب گونه‌های بومی مناسب برای عملیات بیولوژیک و زیست‌مهندسی خاک است. از این‌رو، این روش نه‌تنها ابزاری دقیق برای سنجش توان مهار فرسایش توسط گیاهان محسوب می‌شود، بلکه به‌عنوان یک چارچوب کاربردی و تصمیم‌ساز، بهترین گزینه برای برنامه‌ریزی احیای پوشش گیاهی و مقابله بیولوژیک با فرسایش در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در اراضی مستعد فرسایش سطحی، شیاری و خندقی شناخته می‌شود.

۳-۴- نقش تفکیکی اجزای گیاه در کاهش فرسایش

تفکیک اجزای گیاهی شامل ساقه-برگ و سامانه ریشه نشان داد که این اجزا سهم نابرابری در کاهش رواناب و تولید رسوب دارند. سامانه ریشه مؤثرترین جزء گیاه در کاهش تولید رسوب بوده است. سهم ریشه‌ها در کاهش رسوب در هر دو شدت بارندگی حدود ۵۱ درصد است، در حالی که سهم لاشبرگ حدود ۳۰-۳۶ درصد و سهم ساقه-برگ تنها ۳-۷ درصد است. این یافته با نتایج De Baets و همکاران، (۲۰۰۶)؛ Wei و همکاران (۲۰۲۴) هم‌راستا است که نقش ریشه را در افزایش مقاومت برشی خاک و کاهش فرسایش شیاری و بین‌شیاری برجسته می‌دانند (جدول ۳-۴).

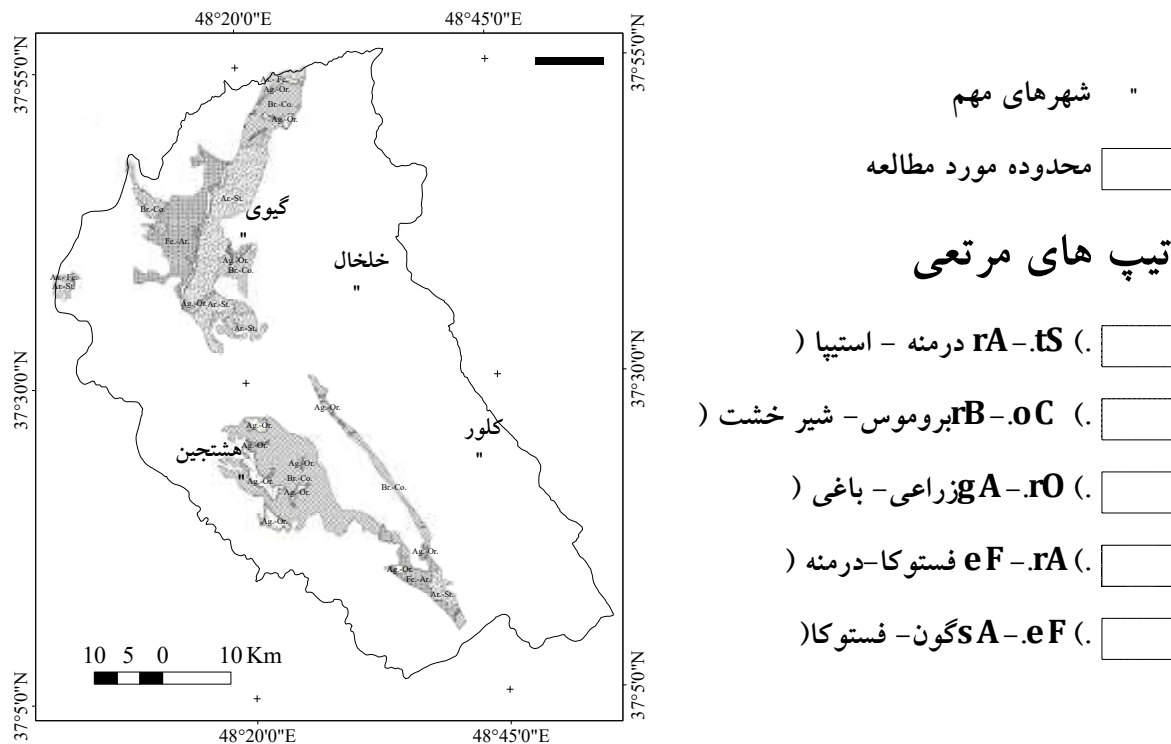
جدول ۳-۴- سهم کمی اجزای گیاه در کاهش رواناب و فرسایش خاک

جزء گیاه	کاهش رواناب (درصد)	کاهش تولید رسوب (درصد)	تفسیر
ساقه-برگ	۱۰-۷	۷-۳	کاهش ضربه باران؛ اثر فرسایش‌کاهی محدود
لاشبرگ	۲۶-۱۷	۳۶-۳۰	رهگیری رواناب و کاهش جداشدگی ذرات
ریشه	۱۲-۱۱	۵۱≈	افزایش انسجام خاک و مهار فرسایش
پوشش کامل گیاه	۴۵-۳۸	۹۰-۸۸	بیشترین توان فرسایش‌کاهی ترکیبی

۴-۱- نتایج مطالعه موردی

۴-۱-۱- پوشش گیاهی و تیپ‌های مرتعی منطقه

بیشتر پوشش گیاهی مراتع از چهار تیپ است (شکل ۴-۱، جدول ۴-۱). تیپ‌های مرتعی براساس حضور و فراوانی گونه‌ها با استفاده از ترانسکت تعیین شده‌اند. بیشترین مساحت مراتع منطقه مربوط به تیپی است که در آن گونه‌های بروموس (*Bromus tomentellus* Boiss.) - شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*) بیشترین فراوانی را دارند. تیپ گون (*Astragalus basilicus* Maassoumi & Podlech) - فستوکا (*Festuca heterophylla* Lam.) با کمینه مساحت دارای کمینه میانگین تراکم کلی گونه‌های گیاهی است.



شکل ۴-۱- نقشه اختصاصی برای اراضی مرتعی و تیپ‌های مختلف مرتعی در منطقه

جدول ۴-۱- تیپ‌های مختلف مرتعی در منطقه مورد مطالعه

فراوانی گیاهان به درصد			درصد مساحت	مساحت به هکتار	علامت اختصاری	تیپ مراتع و اراضی کشاورزی و باغی
میانگین	بیشینه	کمینه				
۲۹/۰۹	۷۰	۲	۴۴/۶۷	۲۷۳۷۱/۴۹۶	Br.-Co.	بروموس - شیرخشت
۲۶/۰	۸۰	۴	۲۶/۵۴	۱۶۲۶۳/۴۶۹	Ar.-St.	درمنه - استپا
۲۲/۳۳	۳۰	۱۲	۱۷/۲۷	۱۰۵۶۸/۰۸۲۹	Fe.-Ar.	فستوکا - درمنه

تیپ مراتع و اراضی کشاورزی و باغی			علامت اختصاری		مساحت به هکتار	درصد مساحت	فراوانی گیاهان به درصد		
							کمینه	بیشینه	میانگین
گون- فستوکا			As.- Fe.		۹۱۵/۲۴۵	۱/۴۹	۳	۵۰	۲۰/۳۳
کشاورزی- باغی			Ag.-Or.		۶۱۵۹/۱۳۷	۱۰/۰۵	-	-	-

نتایج نشان می‌دهد که پوشش گیاهی فعلی در برخی مناطق به‌طور لکه‌ای در شرایط طبیعی بوده و به مرحله تعادل پایدار^۱ خود نزدیک است. این مناطق که در آن‌ها تنوع و تراکم گیاهان به حالت تعادل رسیده‌اند، از نظر پوشش گیاهی در وضعیت مطلوب قرار دارند. باین‌حال، در بیشتر اراضی مرتعی منطقه، به‌دلیل مدیریت نادرست و عدم نظارت کافی، وضعیت پوشش گیاهی به سمت وضعیت منفی گرایش یافته است. در این مناطق، گیاهان اصلی و شاخص در برخی از نقاط به‌طور کامل از بین رفته یا کاهش شدید یافته‌اند و پوشش گیاهی به شدت ضعیف شده است. در مطالعه وضعیت تیپ‌های گیاهی منطقه، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که انواع مختلف تیپ‌های گیاهی با توجه به مساحت و فراوانی گیاهان در سطوح مختلف پراکندگی، وضعیت متفاوتی دارند:

۱. تیپ بروموس (*Bromus tomentellus* Boiss.) - شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)

این تیپ گیاهی در مساحت ۲۷۳۷۱ هکتار معادل ۴۴/۶۷ درصد از کل مساحت منطقه گسترش یافته است. فراوانی گیاهان در این تیپ از دو درصد تا ۷۰ درصد متغیر است و میانگین تراکم گیاهان آن ۲۹/۰۹ درصد است. این میزان نشان‌دهنده تغییرات شدید در تراکم گیاهان است، به‌طوری که در برخی مناطق، تراکم بالا (۷۰ درصد) می‌تواند به‌عنوان نشان‌دهنده پوشش گیاهی مطلوب تلقی شود، در حالی که تراکم پایین (دو درصد) در سایر مناطق ممکن است به فرسایش خاک و کاهش پوشش گیاهی منجر شود.

۲. تیپ درمنه (*Artemisia marschalliana* Sprengel) - استپا (*Stipa pennata* L. subsp.

Zalesskii (Wilensky) Freitag)

تراکم گیاهان در این تیپ از چهار درصد تا ۸۰ درصد متغیر بوده و میانگین تراکم آن ۲۶ درصد است. درحالی که این تیپ ممکن است در برخی نواحی پوشش گیاهی خوبی داشته باشد، اما به‌طور کلی تراکم پایین

^۱ Climax

در بسیاری از نواحی نشان‌دهنده وضعیت ضعیف پوشش گیاهی است که در نتیجه مدیریت نادرست ممکن است کاهش یابد.

۳. تیپ فستوکا (*Festuca heterophylla* Lam.) - درمنه (*Artemisia marschalliana* Sprengel)

فراوانی گیاهان در این تیپ از ۱۲ درصد تا ۳۰ درصد متغیر است و میانگین تراکم گیاهان آن ۲۲/۳۳ درصد است. این میزان تراکم نشان‌دهنده پوشش گیاهی متوسط است، اما به‌طور کلی وضعیت گیاهی این تیپ مطلوب نیست و ممکن است در نتیجه مدیریت نادرست به وضعیت ضعیف تبدیل شود.

۴. تیپ گون (*Astragalus basilicus* Maassoumi & Podlech) - فستوکا (*Festuca*)

(*heterophylla* Lam.)

تراکم گیاهان در این تیپ از سه درصد تا ۵۰ درصد متغیر است و میانگین تراکم آن ۲۰/۳۳ درصد است. این تیپ به‌طور کلی نشان‌دهنده کاهش قابل توجه پوشش گیاهی در منطقه است و وضعیت آن در حال افت است.

تیپ کشاورزی - باغی

این تیپ در مساحت ۶۱۵۹ هکتار (۱۰/۰۵ درصد از کل مساحت منطقه) قرار دارد. اطلاعات دقیقی در مورد فراوانی گیاهان این تیپ موجود نیست، اما به‌طور کلی، به‌دلیل فعالیت‌های کشاورزی و باغی در این نواحی، پوشش گیاهی به‌شدت کاهش یافته و این مناطق از نظر وضعیت پوشش گیاهی در وضعیت ضعیف قرار دارند. با توجه به نتایج ارزیابی‌های موجود در جدول (۴-۱)، اکثریت اراضی مرتعی در منطقه، به‌ویژه در تیپ‌های درمنه - استیپا و فستوکا - درمنه، به‌وضوح در حال حرکت به سمت وضعیت ضعیف و حتی خیلی ضعیف هستند. تراکم‌های پایین در بسیاری از این تیپ‌ها، نشان‌دهنده عدم پایداری پوشش گیاهی و کاهش تنوع گونه‌ای است که ناشی از مدیریت نادرست و فشارهای انسانی است. در حالی که برخی از تیپ‌ها مانند بروموس - شیرخشت در نواحی خاصی ممکن است به مرحله تعادل پایدار نزدیک باشند، در مجموع وضعیت عمومی مراتع نشان‌دهنده روند کاهش کیفیت پوشش گیاهی و انتقال به کلاس‌های متوسط و ضعیف است. به‌منظور جلوگیری

از تشدید این روند، انجام مدیریت بهتر منابع طبیعی و تدوین برنامه‌های حفاظتی و بازسازی پوشش گیاهی امری ضروری به نظر می‌رسد.

۴-۱-۲- ویژگی‌های کلی گونه‌های گیاهی مهم در منطقه

ویژگی‌های مختلف گونه‌های گیاهی در تیپ‌های مختلف مرتعی در جداول پیوست ۱ تا ۵ به‌طور خلاصه نشان داده شده‌اند. در این جداول نام خانواده و گونه (لاتین و فارسی) گیاهان جمع‌آوری شده به‌همراه اطلاعات مربوط به شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی ریشه و اندام‌های هوایی گونه‌ها در مهار فرسایش قید شده است. در ارزیابی و مدیریت منابع مرتعی، گیاهان براساس ویژگی‌های مختلف علوفه‌ای و رفتارهای چرای دام‌ها به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند. این دسته‌بندی‌ها به‌منظور تعیین کیفیت و نحوه استفاده از گیاهان در مراتع و مدیریت آن‌ها برای حفظ پایداری منابع طبیعی به‌کار می‌روند. در ارزیابی ارزش غذایی گیاهان برای دام، واژه‌های مختلفی برای توصیف کیفیت علوفه‌ها و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها در منابع مرتعی به‌کار می‌رود. یکی از اصطلاحات کلیدی و پرکاربرد در این حوزه، ارزش علوفه‌ای^۱ یا مطلوبیت چرا^۲ است که به میزان تمایل دام‌ها به مصرف گیاهان و کیفیت جذب آن‌ها اشاره دارد (ربیعی، ۱۳۹۳؛ ارزانی و عابدی، ۱۳۹۴a). در این مطالعه، از این اصطلاح برای ارزیابی خوشخوراکی گونه‌های گیاهی مورد بررسی استفاده شده است. علاوه بر این، در ارزیابی‌های تخصصی‌تر، از اصطلاحات دیگری برای دسته‌بندی گیاهان براساس ویژگی‌های علوفه‌ای آن‌ها بهره گرفته شده است. گونه‌های مهاجم^۳ معمولاً گیاهانی هستند که خوش‌خوراکی کمی دارند و دام‌ها تمایل کمی به مصرف آن‌ها نشان می‌دهند. این گیاهان به‌سختی توسط دام‌ها مصرف می‌شوند و ممکن است به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی یا شیمیایی خاص خود (مثل طعم تلخ یا مواد سمی) کمتر مورد توجه قرار گیرند. گونه‌های مهاجم معمولاً در شرایطی که مرتع تحت فشار چرای زیاد قرار دارد، افزایش می‌یابند و به نوعی تهدیدی برای تنوع زیستی و کیفیت مراتع به‌شمار می‌روند.

^۱ Forage value

^۲ Palatability

^۳ Invader species

گونه‌های افزایش‌یابنده ضعیف یا کم‌مطلوب چرا به‌طور متوسط خوش‌خوراک هستند، اما تمایل به مصرف آن‌ها توسط دام‌ها کمتر از گونه‌های مرغوب است. این گیاهان معمولاً در شرایطی که مرتع تحت فشار چرای متوسط قرار دارد، افزایش می‌یابند. به‌طور خاص، وقتی که گونه‌های مرغوب یا با کیفیت در معرض فشار چرای زیاد قرار می‌گیرند، این گیاهان جایگزین آن‌ها می‌شوند. بنابراین، این گونه‌ها در شرایطی که کیفیت مرتع کاهش می‌یابد، شایع‌تر می‌شوند و در محیط‌های تحت فشار چرای متوسط رشد می‌کنند. در مقابل، گونه‌های افزایش‌یابنده^۱ شامل گیاهانی است که در شرایط خاص یا تحت فشار چرای زیاد، به‌طور قابل توجهی در جمعیت گیاهان غالب افزایش می‌یابند. اگرچه این گونه‌ها خوش‌خوراکی متوسطی دارند، اما ممکن است در شرایطی که گونه‌های با کیفیت و مرغوب تحت فشار قرار می‌گیرند، رشد کرده و بر تعداد آن‌ها افزوده شود. این گونه‌ها معمولاً نشان‌دهنده کاهش کیفیت مرتع هستند و می‌توانند به عنوان شاخصی برای نیاز به مدیریت چرای دام‌ها محسوب شوند. از سوی دیگر، گونه‌های کم‌شونده^۲ به گیاهانی اطلاق می‌شود که به‌دلیل خوش‌خوراکی بالا و ارزش غذایی بسیار مطلوب برای دام‌ها، در مراتع با کیفیت بالا و تحت شرایط چرای کنترل‌شده به وفور رشد می‌کنند. این گونه‌ها به‌طور معمول با کاهش فشار چرای دام‌ها در مراتع پایدار و با کیفیت بالا حضور دارند و به عنوان گیاهان مرغوب برای چرا شناخته می‌شوند. حضور این گیاهان در مراتع نشان‌دهنده سلامت و کیفیت بالای مرتع است.

در محدوده‌های مورد مطالعه از تعداد ۲۰ خانواده ۵۶ گونه گیاهی جمع‌آوری و شناسایی شده است. فرم رویشی ۴۸ گونه گیاهی در مناطق مورد مطالعه علفی است، شش گونه بوته‌ای و تنها دو گونه فرم درختچه‌ای دارند. از گونه‌های علفی منطقه ۱۶ گونه یکساله بوده و ۳۲ گونه دیگر چند ساله هستند. در بیش از ۴۲ درصد از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه (۲۴ گونه) عمق و نوع ریشه باعث افزایش توانایی گیاه در مهار فرسایش شده و می‌توانند در تثبیت و کاهش تلفات خاک مؤثر باشند. تاج‌پوشش گیاهی و تعداد ساقه در کنار ریشه‌های عمیق و با تراکم بالا باعث می‌شود تا توانایی اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه در مهار فرسایش از جمله ایجاد مانع در مقابل جریان رواناب و تجمع رسوب قابل توجه باشد. از گونه‌های با توانایی بالا در مهار فرسایش در

^۱ Increaser species

^۲ Decreaser species

منطقه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: درمنه معطر (*Artemisia marschalliana* Sprengel)، اسپرس کوهی (*Onobrychis cornuta* (L.) Desv. ssp. *cornuta*)، گوش بره (*Phlomis olivier* L.)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)، سیاه تلو (*Nigella sativa* L.) و بادام کوهی (*Prunus amygdalus*). همچنین سطح تاج‌پوشش گیاهی و فراوانی و استحکام ساقه در ۲۲ گونه گیاهی باعث افزایش توانایی آن‌ها در مقابل فرسایش شده و می‌توانند در تثبیت خاک و مهار فرسایش در درجه دوم اهمیت قرار داده شوند. از این گونه‌ها نیز می‌توان از درمنه معطر (*Artemisia marschalliana* Sprengel)، اسپرس کوهی (*Onobrychis cornuta* (L.) Desv. ssp. *cornuta*)، گوش بره (*Phlomis olivier* L.)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)، سیاه‌تلو (*Nigella sativa* L.)، بادام کوهی (*Prunus amygdalus*)، علف‌پشمکی (*Bromus tomentellus*)، شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza aspera* Pall.)، شور خاردار (*Salsola kali* L.)، تلخ‌بیان (*Sophora alopecuroides* L.)، علف بره (*Festuca heterophylla* Lam.)، درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce)، ماشک کلاغی (*Vicia cracca* L.)، قاشقی (*Scutellaria platystegia* Juz.)، مریم نخودی (*Teucrium polium* L.)، پونه ساری نیش‌دار (*Nepeta pungens* (Bunge) Benth.)، بومادران تماشائی (*Achillea nobilis* L. subsp. *neilreichii* (Kerner) Formanek)، بومادران زرد (*Achillea biebersteinii* Afan)، کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.)، کنگر واژگون کرک‌دار (*Echinops* sp.)، دغدغک (*Scabiosa persica* Boiss. var. *persica*) و شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza aspera* Pall.) نام برد. هرچند گونه‌هایی مانند سیاه‌تلو (*Nigella sativa* L.) و بادام کوهی (*Prunus amygdalus*)، گوش بره، (*Phlomis olivier* L.)، بومادران تماشائی (*Achillea nobilis* L. subsp. *neilreichii* (Kerner) Formanek) و بومادران زرد (*Achillea biebersteinii* Afan)، با وجود توانایی مهار فرسایش دارای خصوصیات دارویی نیز هستند، اما گونه‌هایی مانند مرزه کوهی (*Satureja intermedia*)، درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce)، آتشین (*Aethionema grandiflorum* Bioss&Hohen)، علف جارو (*Kochia scoparia* (L.) Schrad.)، ترشک (*Rumex acetosa* L.)، هویج کوهی (*Astrodaucus orientalis* (L.) Drude)، گل میمونی (*Scrophulari deserti*)، شاه افسر (*Tanacetum balsamitha* L. subsp. *balsamithades* Bip.)، گون علفی

(*Astragalus basilicus* Maassoumi & Podlech)، گل گندم (*Centaurea depressa* L.)، جارو علفی هرز (*Bromus danthoniae* Trin.)، شاه تره (*Frankenia hirsuta*)، کاهوی وحشی (*Lactuca serriola* L.)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، اسپرس کوهی (*Onobrychis cornuta* (L.) Desv. ssp. *cornuta*)، علف پشمکی (*Bromus tomentellus* Boiss.)، علف بره (*Festuca heterophylla* Lam.) و ماشک کلاغی (*Vicia cracca* L.) جهت تغذیه دامها بسیار مناسب تر هستند.

نتایج حاصل از بررسی گونه های گیاهی منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که انواع مختلف ریشه ها در این گیاهان با توزیع های متفاوتی در گروه های مختلف ریشه ها قرار دارند. در این میان، ریشه های افشان یا فیبری با بیشترین فراوانی به میزان ۳۴/۶ درصد از کل گونه ها در ۱۸ گونه مختلف مشاهده می شوند. گیاهانی چون علف پشمکی (*Bromus tomentellus* Boiss.)، کاهوی وحشی (*Lactuca serriola* L.) و درمنه (*Artemisia fragrans*) از جمله نمونه های دارای این نوع ریشه هستند. ریشه های افشان به دلیل ساختار نازک و گسترده شان، قابلیت جذب مؤثر آب و مواد مغذی از خاک های مختلف را دارند و در گیاهان متنوعی که در شرایط محیطی مختلف رشد می کنند، معمولاً یافت می شوند.

در رتبه بعدی، ریشه های خزنده قرار دارند که در ۲۳/۳ درصد از گونه ها، معادل ۱۳ گونه گیاهی، مشاهده می شود. از جمله گیاهانی که این نوع ریشه را دارند می توان به شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)، شیر پنیر (*Galium verum* L.) و تلخ بیان (*Sophora alopecuroides* L.) اشاره کرد. ریشه های خزنده به گیاهان کمک می کنند تا به صورت افقی در سطح خاک گسترش یابند و این ویژگی در شرایطی که گیاهان نیاز به گسترش سریع دارند، اهمیت زیادی دارد.

در جایگاه سوم، ریشه های راست یا اصلی قرار دارند که در ۲۳/۱ درصد از گونه ها، معادل ۱۲ گونه، یافت می شوند. گیاهانی مانند درمنه (*Artemisia marschalliana* Sprengel) و زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.) از این نوع ریشه بهره می برند. ریشه های اصلی معمولاً به عمق خاک نفوذ کرده و به گیاهان این امکان را می دهند که مواد مغذی را از لایه های عمیق تر خاک استخراج کنند.

در کنار این‌ها، ترکیب ریشه‌های خزنده و مقاوم در ۱۱/۵ درصد از گونه‌ها، معادل شش گونه گیاهی، دیده می‌شود. گیاهانی چون مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.) و شیرسگ (*Euphorbia ieriana*) Boiss. (Woron.) Prokh. از این نوع ریشه برخوردارند که علاوه بر مقاومت در برابر شرایط سخت محیطی، قادر به گسترش افقی در سطح خاک نیز هستند.

در نهایت، ریشه‌های ذخیره‌ای و گوشتی در ۷/۷ درصد از گونه‌ها، معادل چهار گونه، حضور دارند. گیاهانی مانند ناز سفید (*Sedum album* L.) و قاشقی (*Scutellaria platystegia* Juz.) این نوع ریشه‌ها را دارند که به گیاهان اجازه می‌دهند مواد مغذی را ذخیره کرده و در شرایط نامساعد محیطی از این ذخایر استفاده کنند. به‌طور کلی، بیشترین پراکندگی ریشه‌ها در این گیاهان متعلق به ریشه‌های افشان و ریشه‌های خزنده است که این تنوع در انواع ریشه‌ها به گیاهان این امکان را می‌دهد که در زیستگاه‌های مختلف و تحت شرایط اقلیمی گوناگون به خوبی رشد و تکثیر یابند. همچنین، ریشه‌های اصلی و مقاوم به گیاهان کمک می‌کنند تا در عمق خاک به جست‌وجوی منابع مغذی بپردازند، درحالی که ریشه‌های ذخیره‌ای و گوشتی برای مقابله با شرایط نامساعد محیطی کارآمد هستند.

گونه شور خاردار (*Salsola kali* L.) که معمولاً با خصوصیت داروئی معرفی می‌شود با وجود اینکه موارد مصرف تغذیه‌ای برای دام‌ها به غیر از شتر ندارد اما با توجه به وجود خاک‌های شور و قلیا در برخی مناطق می‌تواند به عنوان گونه مهار کننده فرسایش مورد توجه باشد. در این حالت مطالعه اثرات آللوپاتیک آن بر سایر گیاهان منطقه ضروری است.

گیاهان منطقه معمولاً رشد رویشی خود را از فروردین ماه هر سال شروع کرده و در اردیبهشت و خرداد به مرحله گل‌دهی می‌رسند. پایان گلدهی این گیاهان معمولاً به تیر تا شهریورماه ختم می‌شود. علاوه بر این برخی از گونه‌ها گل‌های خود را تا مهر و یا آبان ماه حفظ می‌نمایند. آخر تابستان و نیمه اول پائیز زمان پایان زندگی بیشتر گونه‌های منطقه مورد مطالعه است. بیشترین میزان بارندگی در فصل‌های اسفند تا اواخر اردیبهشت ماه و همچنین تا حدودی فصل پائیز اتفاق می‌افتد. گیاهان یک‌ساله و چندساله موجود در منطقه رشد رویشی خود را از فروردین تا اردیبهشت ماه آغاز کرده و بسیاری از آن‌ها نیز به مرحله گلدهی رسیده‌اند.

رشد این گیاهان نقش بسیار مهمی در جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران به خاک داشته و با ایجاد مانع در مقابل رواناب توانایی تثبیت خاک و مهار فرسایش را دارند. تنها گونه‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorium* L.)، علف جارو (*Kochia scoparia* (L.) Schrad.)، ترشک (*Rumex acetosa* L.)، هویج کوهی (*Astrodaucus orientalis* (L.) Drude)، گل میمونی (*Scrophulari deserti*)، زردپنه‌خاردار (*Xanthium spinosum* L.)، گل‌گندم (*Centaurea depressa* L.)، خاکشیر (*Sisymbrium altissimum* L.)، شاه‌تره (*Frankenia hirsuta*) و کاهوی وحشی (*Lactuca serriola* L.) معمولاً به صورت یک‌ساله رشد می‌کنند، ولی بقیه گونه‌های مورد مطالعه چندساله هستند. طبیعی است که ریشه گیاهان چندساله در منطقه نقش مهمی در مهار فرسایش و حفاظت از خاک دارند که می‌توان به گونه‌هایی مانند شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)، درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce)، شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza aspera* Pall.)، خارشتر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.)، تلخ‌بیان (*Sophora alopecuroides* L.)، زلف پیردائمی (*Stipa pennata* L.)، علف چایی (*Hypericum scabrum* L.)، علف بره (*Phlomis olivier* L.)، گون علفی (*Astragalus basilicus* Maassoumi & Podlech)، ماشک کلاغی (*Vicia cracca* L.)، گوش بره (*Phlomis olivier* L.)، اسپرس کوهی (*Onobrychis cornuta* (L.) Desv. ssp. *cornuta*)، علف‌پشمکی (*Bromus tomentellus* Boiss.)، بومادران تماشائی (*Achillea nobilis* L. subsp. *neilreichii* (Kerner))، بومادران زرد (*Achillea biebersteinii* Afan.)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.)، کنگر واژگون کرک‌دار (*Echinops* sp.)، شاه افسر (*Tanacetum balsamitha* L. subsp. *balsamithades* Bip.)، دغدغک (*Bromus tomentellus* Boiss.)، بادام کوهی (*Prunus amygdalus*) و سیاه‌تلو (*Nigella sativa* L.) اشاره کرد.

۴-۱-۳- توان کمی گونه‌های گیاهی در مهار فرسایش خاک

چنان که اشاره شد در این پژوهش توانایی ۳۶ گونه گیاه بومی منطقه که دارای فراوانی بیش از ۱۰ درصد هستند، برای مهار فرسایش به صورت کمی مورد ارزیابی قرار گرفت. نام خانواده و نام لاتین و فارسی گونه‌ها به همراه مقادیر شاخص پنج‌گانه در جدول ۴-۲ درج شده است.

جدول ۴-۲- مقادیر و امتیازات برآوردشده برای شاخص‌های پنج‌گانه ۳۶ گونه گیاه بومی مهم در منطقه به منظور ارزیابی توانایی گیاه در مهار فرسایش شیاری و خندقی

ویژگی‌های گیاهان										نام فارسی	خانواده	گونه	شماره نمونه
Cr (kPa)	RSD (بدون بُعد)	MEI (N)	SOP (m m ⁻¹)	SD (m ² m ⁻²)	توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب	سفتی گیاه	امتیاز	توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها	امتیاز				
۰	۰/۹۶۱۲	۴	۴/۰۶×۱۰ ^{-۶}	۰	۰/۰۱۲۲	۴	۰/۱۶۷	۰	۰/۰۰۰۸۸	مرزه کوهی	Lamiaceae	<i>Satureja intermedia</i>	۱
۱	۰/۲۸۸	۳	۱۰ ^{-۲} ۳/۱۶۵×	۰	۰/۰۶۴۴۲	۴	۰/۱۶۲۲	۱	۰/۰۰۱۷۳	درمنه خاکستری	Compositae	<i>Artemisia incana</i> (L.) Druce	۲
۱	۰/۱۷۶	۴	۱/۷×۱۰ ^{-۲۵}	۱	۰/۳۰۲۸	۰	۰/۰۳۳	۰	۰/۰۰۰۵۶۶۴	شیرین بیان	Fabaceae	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	۳
۲	۱/۷۹۵	۴	۶/۶۸×۱۰ ^{-۲۴}	۰	۷۸۹×۱۰ ^{-۳/۶}	۰	۰/۰۰۱۲۸	۴	۰/۰۰۷۸	زلف پیر دائمی	Gramineae	<i>Stipa pennata</i> L.	۴
۱	۰/۱۰۵	۴	۳×۱۰ ^{-۹}	۰	۶۹۳×۱۰ ^{-۱/۶}	۳	۰/۱۳۵۲	۱	۰/۰۰۱۴۶۴	خارشتر یا کاروان کش	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	۵
۰	۰/۰۴۶۶	۲	۰/۲۰۶	۱	۰/۳۵۴۷	۰	۰/۰۱۱۸۳	۰	۱/۴۶۳×۱۰ ^{-۴}	گلرنگ	Compositae	<i>Carthamus tinctorium</i> L.	۶
۰	۰/۰۴۳۱	۴	۸/۹۸×۱۰ ^{-۵}	۰	۹۹۹×۱۰ ^{-۲/۳}	۲	۰/۰۷۲۲۰	۱	۰/۰۰۱۷۱	آتشین	Cruciferae	<i>Aethionema grandiflorum</i> Bioss&Hohen	۷
۱	۰/۴۸۰	۴	۸/۴۴×۱۰ ^{-۵}	۲	۲/۳۴۲	۳	۰/۱۰۶۱	۴	۰/۱۸۳	کلاه میرحسن	Plumbaginaceae	<i>Acantholimon talagonicum</i> L.	۸

شماره نمونه	نام فارسی	خانواده	گونه	ویژگی‌های گیاهان							
				SD (m ² m ⁻²)		SOP (m m ⁻¹)		MEI (N)		RSD (بدون بُعد)	
				تراکم ساقه	امتیاز	توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب	امتیاز	سفتی گیاه	امتیاز	توانایی کاهش فرسایش	امتیاز
۹	تلخه	Fabaceae	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	۶/۹۶۹×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۲۶۴	۰	۲/۰۵	۲	۰/۲۰۵۴	۲
۱۰	علف جارو	Compositae	<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	۲/۱۰۸×۱۰ ^{-۴}	۰	۸/۲۷۵×۱۰ ^{-۵}	۰	۰/۵۵۹	۱	۰/۰۳۹۶	۳
۱۱	ترشک	Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i> L.	۲/۵۹۰×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۱۷۴	۰	۰/۲۶۳	۱	۱/۶۹×۱۰ ^{-۸}	۴
۱۲	هویج کوهی	Umbelliferae	<i>Astrodaucus orientalis</i> (L.) Drude	۱/۲۶۶×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۱۹۴	۰	۱/۳۳۷	۲	۰/۰۷۴۴	۳
۱۳	گل میمونی کنگر	Scrophulariaceae	<i>Scrophulari deserti</i>	۵/۳۲۶×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۵۷۳	۱	۰/۴۳۹	۱	۰/۰۱۸۰	۳
۱۴	واژگون کرک‌دار	Compositae	<i>Cirsium osseticum</i> L.	۰/۰۰۱۴۱	۱	۰/۰۷۲۲	۱	۱/۶۴۴	۲	۷/۴۴×۱۰ ^{-۶}	۴
۱۵	گل ماهور	Scrophulariaceae	<i>Verbascum thapsus</i> L.	۰/۰۰۲۶۲	۲	۰/۳۰۰	۴	۶/۱۰۱	۲	۲/۳۵۳×۱۰ ^{-۵}	۴
۱۶	علف چایی	Hypericaceae	<i>Hypericum scabrum</i> L.	۰/۰۰۲۰۴	۲	۰/۱۷۳	۴	۰/۰۰۵۹۰	۰	۱۰ ^{-۳} ×۵/۸۱۶	۴
۱۷	شاه افسر	Leguminosae	<i>Tanacetum balsamitha</i> L. subsp. (<i>balsamithades</i> Bip.)	۱/۲۱۶×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۱۷۷	۰	۱/۴۷۷	۲	۱۰ ^{-۲} ×۹/۰۰۵	۳

شماره نمونه	نام فارسی	خانواده	گونه	ویژگی‌های گیاهان									
				تراکم ساقه		SOP (m m ⁻¹)		MEI (N)		RSD (بدون بُعد)		Cr (kPa)	
				امتیاز	توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب	امتیاز	سفتی گیاه	امتیاز	توانایی کاهش فرسایش	امتیاز	توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها	امتیاز	
۱۸	دغدغک	Fabaceae	<i>Colutea persica</i> Boiss	۰/۰۰۲۶۵	۲	۰/۹۸۸	۴	۵۳/۴۷۱	۴	۰/۰۶۴۹۳۶	۳	۶/۹۴۰	۳
۱۹	بادام کوهی	Papilionaceae	<i>Amygdalus scoparia</i> Spach	۰/۰۶۸۴	۴	۰/۲۵۰۰	۴	۱۴/۶۹	۳	۱۰ ^{-۴۲} ×۳/۶	۴	۵/۱۹	۳
۲۰	علف بره	Gramineae	<i>Festuca ovina</i> L.	۰/۲۸۰	۴	۰/۴۵۰۰	۴	۰/۵۷	۱	۰/۰۰ < ۰/۰۱	۴	۰/۰۳۲	۰
۲۱	گز	Tamaricaceae	<i>Tamarix ramosissima</i>	۰/۰۰۲۳	۲	۰/۰۵۲۳	۱	۲۷/۱۳۴	۴	۶/۰۵۹×۱۰ ^{-۸}	۴	۳۴/۶۲۶	۴
۲۲	شور خاردار	Chenopodiaceae	<i>Salsola kali</i> L.	۰/۰۰۱۱۸	۱	۰/۰۶۱۳	۱	۲۳/۸۵۷	۳	۰/۰۹۶۵	۳	۱۹/۶۱	۴
۲۳	زردینه خاردار	Compositae	<i>Xanthium spinosum</i> L.	۰/۰۰۳۶	۳	۰/۱۲۱۲	۳	۰/۲۶۴	۱	۰/۱۰۴	۲	۰/۰۰۹۷۵	۰
۲۴	شیرخشت	Fabaceae	<i>Cotoneaster nummularia</i>	۰/۰۰۴۷	۳	۰/۰۷۰۰	۱	۷/۰۶۴	۲	۰/۰۰۲۲	۴	۱/۴۸۷۱	۲
۲۵	سماق	Anacardiaceae	<i>Rhus coriaria</i>	۰/۰۲۰۶	۴	۰/۱۴۲۲	۳	۳۲/۱۶۰	۴	۲/۴۹۹×۱۰ ^{-۷}	۴	۱۸	۴
۲۶	گون علفی	Fabaceae	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	۰/۰۰۱۶۰	۱	۰/۰۴۰	۰	۰/۰۲۳۹۸	۰	۰/۱۸۹	۲	۰/۰۰۶۱	۰
۲۷	گل گندم	Gramineae	<i>Centaurea depressa</i> L.	۰/۰۰۲۷۱	۲	۰/۰۵۲۰	۱	۰/۴۵۲۴	۱	۰/۰۴۳۴	۳	۰/۰۷۲۲۵	۰
۲۸	شیرسگ	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	۶/۲۴۹×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۱۶۶	۰	۳/۹۳	۲	۱۰/۱۰۷۶	۰	۰/۱۴۱۳۲	۱

شماره نمونه	نام فارسی	خانواده	گونه	ویژگی‌های گیاهان							
				SD (m ² m ⁻²)		SOP (m m ⁻¹)		MEI (N)		RSD (بدون بُعد)	
				تراکم ساقه	امتیاز	توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب	امتیاز	سفتی گیاه	امتیاز	توانایی کاهش فرسایش	امتیاز
۲۹	جارو علفی هرز	Gramineae	<i>Bromus danthoniae</i> Trin.	۹/۱۲۱×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۲۷۳	۰	۰/۰۳۱۷	۰	۰/۳۱۴۵	۱
۳۰	خاک شیر	Cruciferae	<i>Sisymbrium altissimum</i> L.	۶/۷۵×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۲۶	۰	۰/۰۷۳۰	۰	۰/۳۴۶	۱
۳۱	شاه‌تره	Frankeniaceae	<i>Frankenia hirsuta</i>	۷/۲۰×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۵۳۱۲۵	۱	۰/۰۰۵۵۹	۰	۰/۰۰۱۱۹۹	۰
۳۲	کاهوی وحشی	Compositae	<i>Lactuca serriola</i> L.	۳/۰۵۰×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۱۷۴	۰	۰/۰۱۴۷	۰	۰/۱۸۶	۲
۳۳	علف مار	Capparidaceae	<i>Caparis spinosa</i>	۴/۳۳۵×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۲۰۴	۰	۰/۰۸۶۲	۰	۰/۰۶۰۰	۳
۳۴	اسپند	Zygophyllaceae	<i>Peganum harmala</i>	۴/۷۲۲×۱۰ ^{-۴}	۰	۰/۰۵۵	۱	۰/۰۲۸۵	۰	۱/۴۱۲×۱۰ ^{-۵}	۴
۳۵	خار مریم	Compositae	<i>Silybum marianum</i> (L.)	۰/۰۰۳۸۸	۳	۰/۰۷۶۳	۲	۰/۹۲۷۳	۱	۰/۱۵۳۴	۲
۳۶	ملیکای بلند	Gramineae	<i>Melica Altissima</i> L.	۰/۰۱۲۷	۴	۰/۶۹۶	۴	۰/۴۲۶	۱	۵۰۴×۱۰ ^{-۵} ۶/۱۳	۴

به منظور ارزیابی کمی توانایی گیاهان بومی منطقه در مهار فرسایش، از گونه‌های شناسایی شده ۳۶ گونه گیاهی از ۱۹ خانواده انتخاب شد. فرم رویشی هفت گونه گلرنگ (*Carthamus tinctorium* L.)، کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.)، کنگر واژگون کرک‌دار (*Cirsium osseticum* L.)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)، خاکشیر (*Sisymbrium altissimum* L.) و علف مار (*Caparis spinosa*) بوته‌ای است. تعداد چهار گونه شامل: دغدغ (*Colutea persica* Boiss.)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، گز (*Tamarix ramosissima*) و سماق (*Rhus coriaria*) دارای فرم درختچه‌ای هستند.

تعداد ۲۵ گونه بومی از نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده از منطقه فرم رویشی علفی دارند که عبارتند از: مرزه کوهی (*Satureja intermedia*)، درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce)، شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza aspera* Pall.)، زلف پیر دائمی (*Stipa pennata* L.)، خارستر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.)، آتشین (*Aethionema grandiflorum* Bioss&Hohen)، تلخه (*Acroptilon repens* (L.) DC.)، علف جارو (*Kochia scoparia* (L.) Schrad.)، ترشک (*Rumex acetosa* L.)، هویج کوهی (*Astrodaucus orientalis* (L.) Drude)، گل میمونی (*Scrophulari deserti*)، علف چایی (*Hypericum scabrum* L.)، شاه افسر (*Tanacetum balsamitha* L. subsp. *balsamithades* Bip.)، علف بره (*Festuca Ovina* L.)، علف شور یا شور خاردار (*Salsola kali* L.)، زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.)، گون علفی (*Astragalus basilicus* Maassoumi & Podlech)، گل گندم (*Centaurea depressa* L.)، شیرسگ (*Euphorbia ieriana* Boiss. (Woron.) Prokh.)، جارو علفی هرز (*Bromus danthoniae* Trin.)، خاکشیر (*Sisymbrium altissimum* L.)، شاه‌تره (*Frankenia hirsuta*)، کاهوی وحشی (*Lactuca serriola* L.)، اسپند (*Peganum harmala*)، خار مریم (*Silybum marianum* (L.) و ملیکای بلند (*Melica altissima* L.). در این مطالعه، پنج شاخص اصلی برای ارزیابی توانایی گونه‌های گیاهی در مهار فرسایش خاک مورد بررسی قرار گرفت.

برای تراکم ساقه گیاه (SD)، گونه بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.) با بیشینه مقدار ۰/۰۶۸۶ مترمربع بر مترمربع و گونه شاه افسر (*Tanacetum balsamitha* L. subsp. *balsamithades* Bip.) با کمینه

مقدار ۰/۰۰۱۲ مترمربع بر مترمربع بیشترین و کمترین تراکم ساقه را داشتند. در شاخص توانایی ایجاد مانع در مقابل جریان رسوب (SOP)، گونه دغدغک (*Colutea persica* Boiss.) با بیشینه مقدار ۰/۹۸۸ متر و گونه علف جارو (*Kochia scoparia* (L.) Schrad.) با کمینه مقدار $۸/۲۷۵ \times ۱۰^{-۵}$ متر بیشترین و کمترین توانایی در ایجاد مانع در برابر جریان رسوب را داشتند. در شاخص مقاومت گیاه در برابر خمیدگی توسط جریان آب (MEI)، گونه دغدغک (*Colutea persica* Boiss.) با مقدار ۵۳/۴۷۱ بیشترین مقاومت در برابر خمیدگی را نشان داد، درحالی که گونه خار شتر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.) با مقدار $۱۰ \times ۶۹۳ - ۱/۶$ کمترین مقاومت را داشت. برای شاخص توانایی کاهش فرسایش توسط ریشه‌ها (RSD) گونه بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.) با مقدار $۱۰ \times ۶ - ۳/۴۲$ بیشترین و گونه شیرسگ (*Euphorbia ieriana* Boiss. (Woron.)) با مقدار ۱۰/۱۰۷۶ کمترین تأثیر را در کاهش فرسایش توسط ریشه‌ها نشان دادند.

در نهایت، در شاخص مقاومت افزوده به خاک به واسطه ریشه‌ها (Cr)، گونه گز (*Tamarix ramosissima*) با مقدار ۳۴/۶۲۶ بیشترین تأثیر را بر افزایش مقاومت خاک داشت، درحالی که گونه جارو علفی هرز (*Bromus danthoniae* Trin.) با مقدار ۰/۰۰۳۰۵۵ کمترین اثر را داشت.

بیشینه مقدار توانایی ایجاد مانع در مقابل رواناب (SOP) را گونه دغدغک (*Colutea persica* Boiss.) با ۹۸/۸ درصد و کمینه آن را گونه علف جارو (*Kochia scoparia* (L.) Schrad.) با ۰/۰۰۸۲ درصد دارا هستند. گونه‌های دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، ملیکای بلند (*Melica altissima* L.)، علف بره (*Festuca ovina* L.)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، علف چایی (*Hypericum scabrum* L.)، مرزه کوهی (*Satureja intermedia*)، درمنه (*Artemisia incana* (L.) Druce)، سماق (*Rhus coriaria*)، خار شتر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.)، زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.) و کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.) به‌ترتیب دارای توانایی بسیار بالا تا بالا در ایجاد مانع در مقابل رسوب و ذرات مواد آلی حمل‌شده توسط رواناب هستند. همچنین گونه‌های آتشین (*Aethionema grandiflorum* Bioss & Hohen) و خار مریم (*Silybum marianum* (L.)) دارای توانایی متوسطی در ایجاد مانع در مقابل رواناب و ذرات جامد هستند. بقیه گونه‌های گیاهی منطقه توانایی پایین و یا

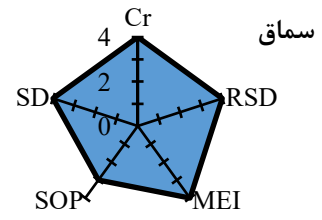
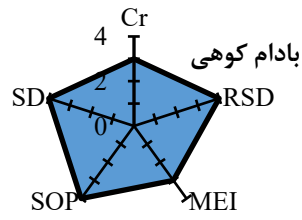
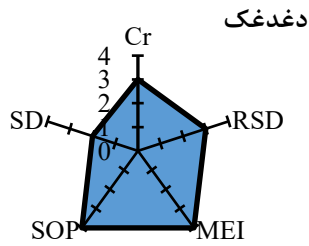
بسیار پایینی در ایجاد ممانعت در مقابل جریان رواناب دارند. بیشترین مقدار شاخص سفتی گیاه به ترتیب مربوط به گونه‌های دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، سماق (*Rhus coriaria*) و گز (*Tamarix ramosissima*) است که نشان‌دهنده مقاومت بسیار بالای آن‌ها در مقابل جریان رواناب است. گونه‌های گیاهی شور خاردار (*Salsola kali* L.) و بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.) نیز مقاومت بالایی در مقابل نیروی برشی آب دارند. مقادیر شاخص سفتی یا سختی محاسبه شده برای گونه‌های شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، شیرسگ (*Euphorbia ieriana* Boiss. (Woron.))، کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.)، تلخه (*Acroptilon repens* (L.) DC.)، کنگر واژگون کرک‌دار (*Cirsium osseticum* L.)، شاه افسر (*Tanacetum balsamitha* L. subsp. *balsamithades*)، و هویج کوهی (*Astrodaucus orientalis* (L.) Drude) بین ۱ و ۱۰ (نیوتن) بوده و نشان می‌دهد که سفتی و توانایی آن‌ها در مقابل نیروی برش جریان آب متوسط است. ده گونه بومی منطقه دارای مقاومت پایین بوده و سیزده گونه نیز عملاً سفتی چندانی ندارند.

معمولاً ریشه گیاهان علفی دارای مقادیر پایینی برای شاخص توانایی کاهش فرسایش (RSD) بوده و لذا توانایی بالایی در افزایش مقاومت خاک سطحی در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته دارند. به غیر از دو گونه شیرسگ (*Euphorbia ieriana* Boiss. (Woron.) Prokh.) و شاه‌تره (*Frankenia hirsuta*) تمام گونه‌های بومی منطقه توانایی افزایش مقاومت به خاک سطحی در مقابل جریان رواناب فرسایشی را دارند. این توانایی در گونه‌های بومی درختچه‌ای بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، گز (*Tamarix ramosissima*) و سماق (*Rhus coriaria*) بسیار بالا است. شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza aspera* Pall.)، زلف پیردائمی (*Stipa pennata* L.)، ملیکای بلند (*Melica altissima* L.)، خارشر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.) و ترشک (*Rumex acetosa* L.) از گونه‌هایی هستند که با فرم رویشی علفی توانایی بسیار بالایی در مهار فرسایش دارند. البته گونه‌هایی با فرم رویشی خشبی و یا بوته‌ای مانند گونه‌های کنگر واژگون کرک‌دار (*Cirsium osseticum* L.)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*)، کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.) و علف مار (*Caparis spinosa*) نیز با توانایی بالا و بسیار بالا

در کاهش فرسایش در منطقه رشد می‌کنند. مقادیر بالای شاخص مربوط به توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها (Cr) در پنج گونه گز (*Tamarix ramosissima*)، شور خاردار (*Salsola kali* L.)، سماق (*Rhus coriaria*)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss.) و بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.) باعث پایداری خاک‌ها در عمق‌های بیش از ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری می‌شوند. گیاهان زلف پیر دائمی (*Stipa pennata* L.) و شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*) نیز توانایی متوسطی در افزایش مقاومت خاک و آن هم در قسمت‌های سطحی‌تر دارند. توانایی بقیه گونه‌های رشدیافته در منطقه در افزایش پایداری دیواره‌ها، دامنه‌ها و شیب‌های تند پایین و گاهی بسیار پایین ارزیابی شده است.

۴-۱-۴- ارزیابی و مقایسه توان کاهش فرسایش گونه‌های گیاهی

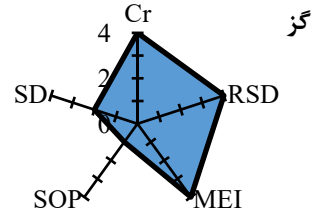
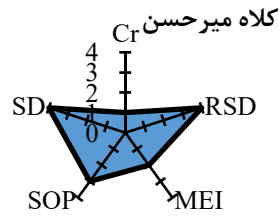
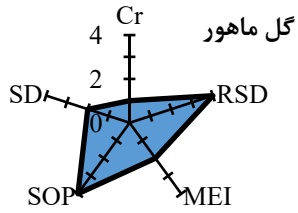
مقادیر شاخص‌های پنج‌گانه برای هر کدام از گونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای ستاره‌ای نشان داده شده است (شکل ۴-۲). گونه‌های درختچه‌ای دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، گز (*Tamarix ramosissima*) و سماق (*Rhus coriaria*) با داشتن بزرگ‌ترین مساحت داخل منحنی نسبت به سایر گونه‌ها برای مهار فرسایش شیاری و خندقی و حتی حرکات دامنه‌ای کم‌عمق بسیار مناسب هستند. گونه‌های کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*) با فرم رویشی بوته‌ای به‌علت تراکم بالای ساقه و ریشه می‌توانند از تشکیل و گسترش فرسایش شیاری و خندقی جلوگیری کرده و در احیاء پوشش گیاهی منطقه مورد استفاده قرار گیرند. گونه‌های علفی ملیکای بلند (*Melica altissima* L.)، علف بره (*Festuca ovina* L.) و علف شور یا شور خاردار (*Salsola kali* L.) توانایی بالایی در مهار فرسایش شیاری و خندقی دارند. در گونه‌های علف بره (*Festuca ovina* L.) و ملیکای بلند (*Melica altissima* L.) هر دو اندام هوای و زیرزمینی گیاه می‌توانند تأثیر اساسی در مهار فرسایش داشته باشند، در حالیکه در گونه علف شور یا شور خاردار (*Salsola kali* L.) تأثیر ریشه گیاه در افزایش پایداری دیواره‌ها و کاهش شدت فرسایش بسیار بیشتر از اندام هوایی است.



Colutea persica Boiss.

Amygdalus scoparia Spach.

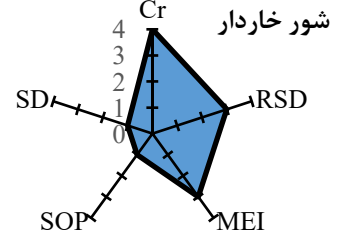
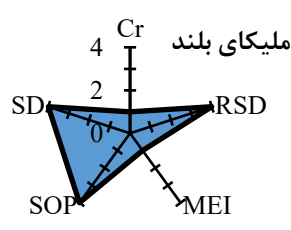
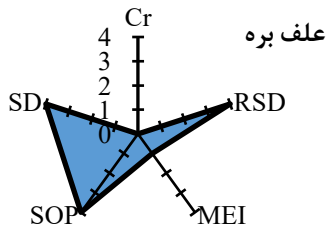
Rhus coriaria



Verbascum thapsus L.

Acantholimon talagonicum L.

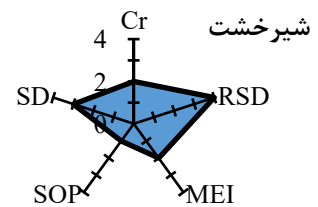
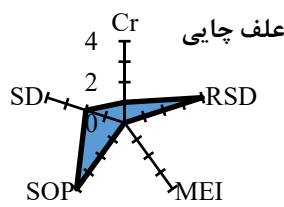
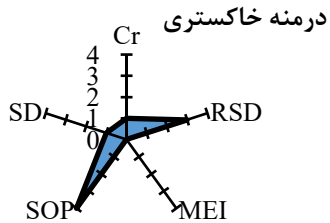
Tamarix ramosissima



Festuca ovina L.

Melica Altissima L.

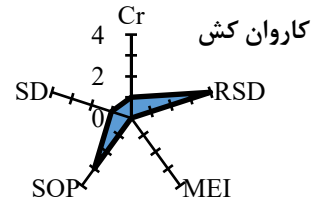
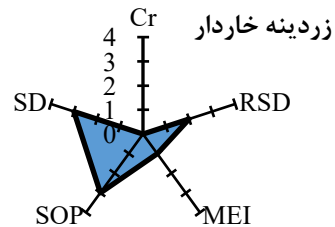
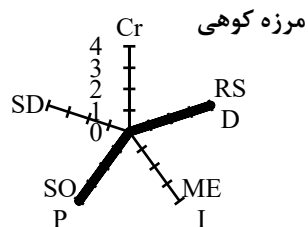
Salsola kali L.



Artemisia incana (L.) Druce

Hypericum scabrum L.

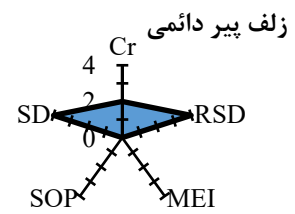
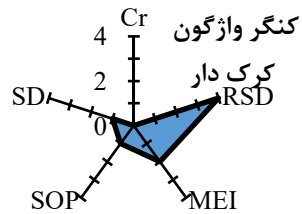
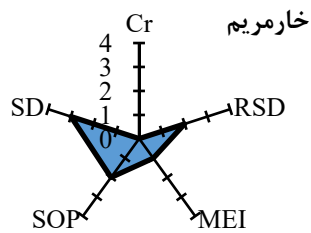
Cotoneaster nummularia



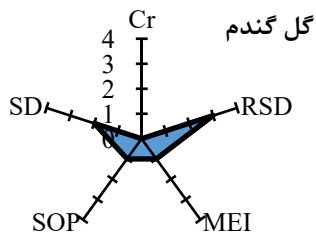
Satureja intermedia

Xanthium spinosum L.

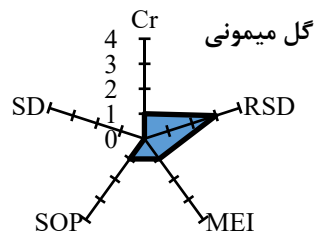
Alhagi pseudalhagi (M.B.) Desv.



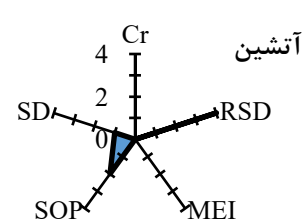
Silybum marianum L.



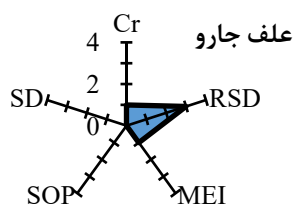
Cirsium osseticum L.



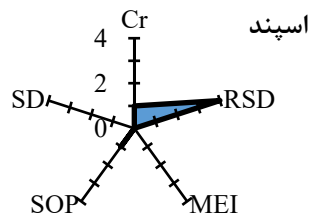
Stipa pennata L.



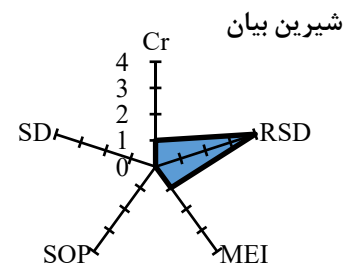
Centaurea depressa L.



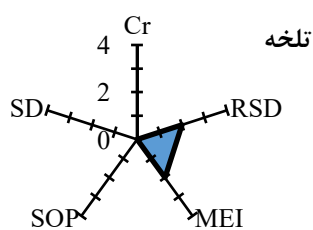
Scrophulari deserti



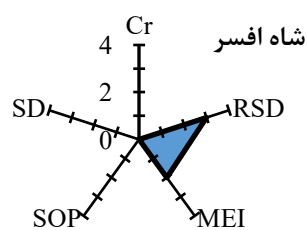
Aethionema grandiflorum
Bioss&Hohen



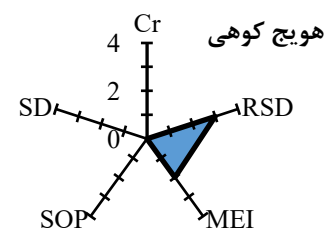
Kochia scoparia (L.) Schrad.



Peganum harmala



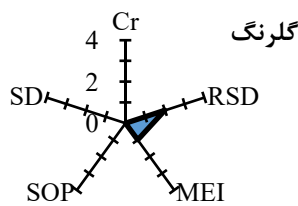
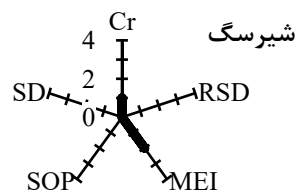
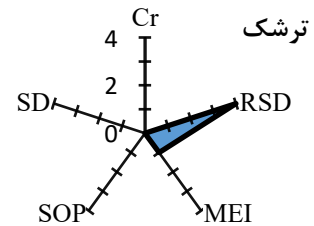
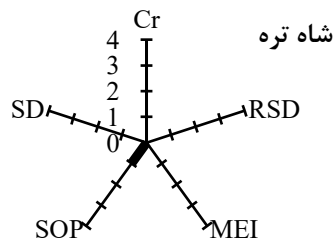
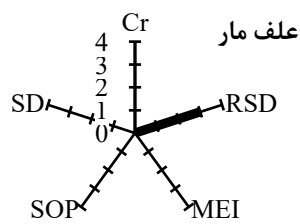
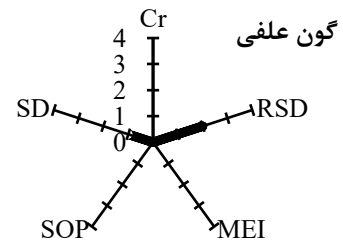
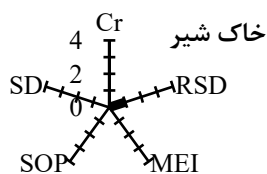
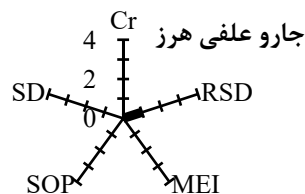
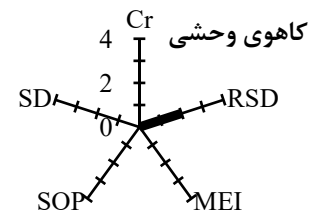
Glycyrrhiza aspera Pall.



Acroptilon repens (L.) DC.

Tanacetum balsamitha L. subsp.
(*balsamithades* Bip.)

Astrodaucus orientalis (L.) Drude

*Carthamus tinctorium* L.*Euphorbia ieriana* Boiss. (Woron.)
Prokh.*Rumex acetosa* L.*Frankenia hirsuta**Caparis spinosa**Astragalus basilicus* Maassoumi
& Podlech*Sisymbrium altissimum* L.*Bromus danthoniae* Trin.*Lactuca serriola* L.

شکل ۴-۲- نمودارهای ستاره‌ای نشان‌دهنده توانایی ۳۶ گونه گیاهی بومی منطقه در مهار فرسایش

مقادیر شاخص‌های SD: تراکم ساقه (مترمربع بر مترمربع)، میزان مقاومت گیاه در برابر نیروی برشی جریان آبی، SOP: توانایی ایجاد مانع در مقابل جریان رسوب (متر بر متر)، MEI: درجه مقاومت گیاه در مقابل خمیدگی بوسیله جریان آب به صورت سفتی یا سختی گیاه (به نیوتن)، RSD: توانایی کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته توسط ریشه گیاه (بدون بُعد) و C_R : مقاومت افزوده شده به خاک بواسطه ریشه گیاه (کیلو پاسکال) برای نمونه‌های انتخابی برآورد می‌شود.

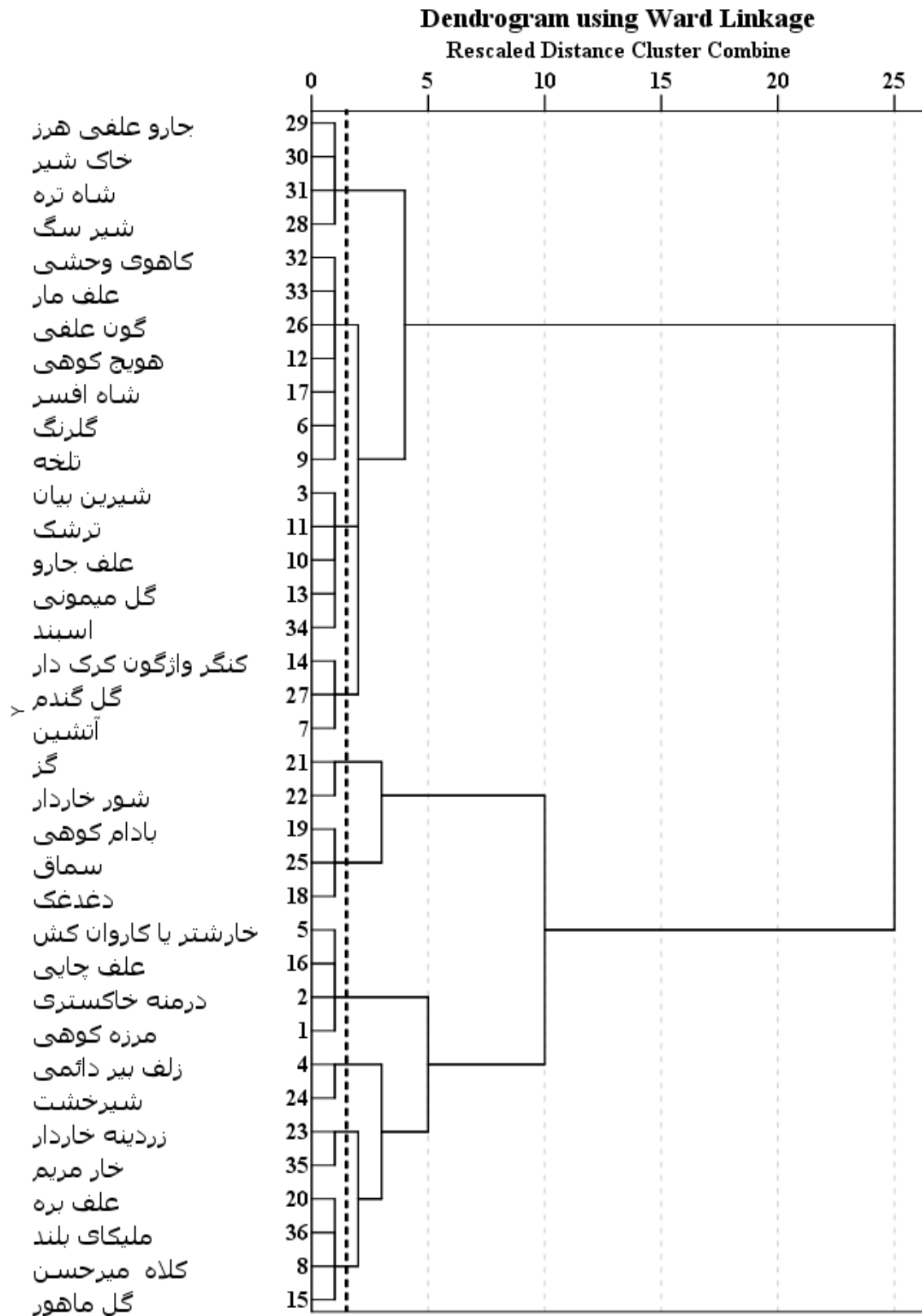
گیاهان مرزه کوهی (*Satureja intermedia*)، درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce)، علف چایی (*Hypericum scabrum* L.) و خارشتر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.) می‌توانند در دامنه‌های پرشیب عملکرد خوبی داشته باشند، اما چون ریشه عمیقی ندارند در مهار حرکات دامنه‌ای کم‌عمق مؤثر نیستند. گونه زلف پیردائی (*Stipa pennata* L.) هرچند گیاه کوچکی است، اما می‌تواند بر روی سطح خاک خصوصاً در شروع فصل رشد و بارندگی‌ها پوشش خوبی ایجاد کند. همچنین به دلیل تراکم بالای ریشه می‌تواند مقاومت خاک را در مقابل جریان تمرکز یافته آب بالا برده و از تشدید فرسایش جلوگیری کند.

همچنین گونه‌های خار مریم (*Silybum marianum* (L.))، زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.)، گل گندم (*Centaurea depressa* L.) و کنگر واژگون کرک‌دار (*Cirsium osseticum* L.) نیز می‌توانند تا حدودی با کاستن از قدرت جریان تمرکز یافته از شدت فرسایش بکاهند. سایر گونه‌ها فاقد توانایی بالا در مهار و کاهش فرسایش هستند.

تمام گونه‌های مورد مطالعه توانایی رشد در شرایط خشک و کم‌آبی را دارند. بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که این گیاهان در تمام بخش‌های منطقه از جمله در محدوده‌های با فرسایش سطحی، شیاری و خندقی، در تمام دامنه‌ها با درجات شیب مختلف و در بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها رشد می‌کنند. همچنین بیشترین رشد این گونه‌ها در محل نشت آب زیرزمینی، مسیر رودخانه‌ها، مسیل‌ها و کف خندق‌ها که در آن‌ها رطوبت نسبتاً بالا است، مشاهده می‌شود.

۴-۱-۵- خوشه‌بندی گیاهان منطقه

براساس نتایج این تجزیه آماری، گیاهانی که برای تمام معیارها امتیازات یکسانی دارند در یک خوشه قرار داده شده‌اند (شکل ۴-۳). با مشاهده‌ای نمودار درختی و با در نظر گرفتن فاصله تشابه ۱/۵، گیاهان منطقه در ۱۰ خوشه قرار داده شدند. گونه‌های متعلق به هر خوشه در جدول ۴-۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۴- نمودار درختی گروه‌بندی گونه‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه به روش Ward

(فاصله گونه‌های گیاهی با استفاده از تابع مربع فاصله اقلیدوسی^۱ محاسبه شد)

^۱ Squared Euclidean Distance

جدول ۳-۴- گونه‌های گیاهی منطقه براساس امتیاز شاخص‌ها در ۱۰ خوشه قرار گرفته‌اند

خوشه	نام فارسی	خانواده	گونه	خصوصیات گیاهان خوشه
۱	جارو علفی هرز	Gramineae	<i>Bromus danthoniae</i> Trin.	مقاومت بسیار کم در مقابل جریان
	خاکشیر	Cruciferae	<i>Sisymbrium altissimum</i> L.	تمرکز یافته آب، توانایی بسیار پایین در
	شاه تره	Frankeniaceae	<i>Frankenia hirsuta</i>	ایجاد مانع در مقابل حمل رسوب،
	شیرسگ	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	خمیده شدن در مقابل جریان آب و فاقد توانایی در پایداری دیواره‌ها و شیب‌ها
۲	کاهوی وحشی	Compositae	<i>Lactuca serriola</i> L.	داشتن توانایی متوسط ریشه در مهار
	علف مار	Capparidaceae	<i>Caparis spinosa</i>	فرسایش و افزایش دهنده مقاومت خاک
	گون علفی	Fabaceae	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته
	هویج کوهی	Umbelliferae	<i>Astrodaucus orientalis</i> (L.) Drude	آب، توانایی بسیار پایین در ایجاد مانع
	شاه افسر	Leguminosae	<i>Tanacetum balsamitha</i> L. subsp. <i>balsamithades</i> (Bip.	در مقابل حمل رسوب، خمیده شدن در مقابل جریان آب و فاقد توانایی در
	گلرنگ	Compositae	<i>Carthamus tinctorium</i> L.	پایداری دیواره‌ها و شیب‌ها. اندام‌های
	تلخه	Fabaceae	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	هوایی نمی‌توانند در مهار فرسایش نقش مهمی داشته باشند.
۳	شیرین بیان	Fabaceae	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	با توجه به تراکم بالای ریشه فقط دارای
	ترشک	Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i> L.	توانایی بالا و بسیار بالا در افزایش
	علف جارو	Compositae	<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	مقاومت خاک سطحی در مقابل جریان
	گل میمونی	Scrophulariaceae	<i>Scrophulari deserti</i>	تمرکز یافته آب هستند. فاقد توانایی به
	اسپند	Zygophyllaceae	<i>Peganum harmala</i>	تله انداختن رسوب بوده و در مقابل جریان برشی آب نیز بسیار ضعیف هستند. هیچگونه تأثیری نمی‌توانند در پایداری دیواره‌ها داشته باشند.
۴	کنگر واژگون	Compositae	<i>Cirsium osseticum</i> L.	توانایی بالا و بسیار بالا در مقابل
	کرک‌دار			فرسایش جریان‌ات تمرکز یافته به علت
	گل گندم	Gramineae	<i>Centaurea depressa</i> L.	تراکم بالای ریشه نسبت به حجم خاک،
	آتشین	Cruciferae	<i>Aethionema grandiflorum</i> Bioess&Hohen	واکنش ضعیف تا متوسط در مقابل نیروی برشی آب و حمل رسوب توسط رواناب، عدم وجود توانایی در پایداری سازی دیواره‌ها
۵	گز	Tamaricaceae	<i>Tamarix ramosissima</i>	توانایی بسیار بالا در مهار فرسایش دیواره‌ای و ایجاد پایداری در دامنه‌ها،
	شور خاردار	Chenopodiaceae	<i>Salsola kali</i> L.	بسیار مقاوم به خمیدگی در مقابل جریان آب، مقاومت بالا در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته و توانایی کم در به تله انداخت رسوبات و ذرات آلی
۶	بادام کوهی	Papilionaceae	<i>Tamarix ramosissima</i>	

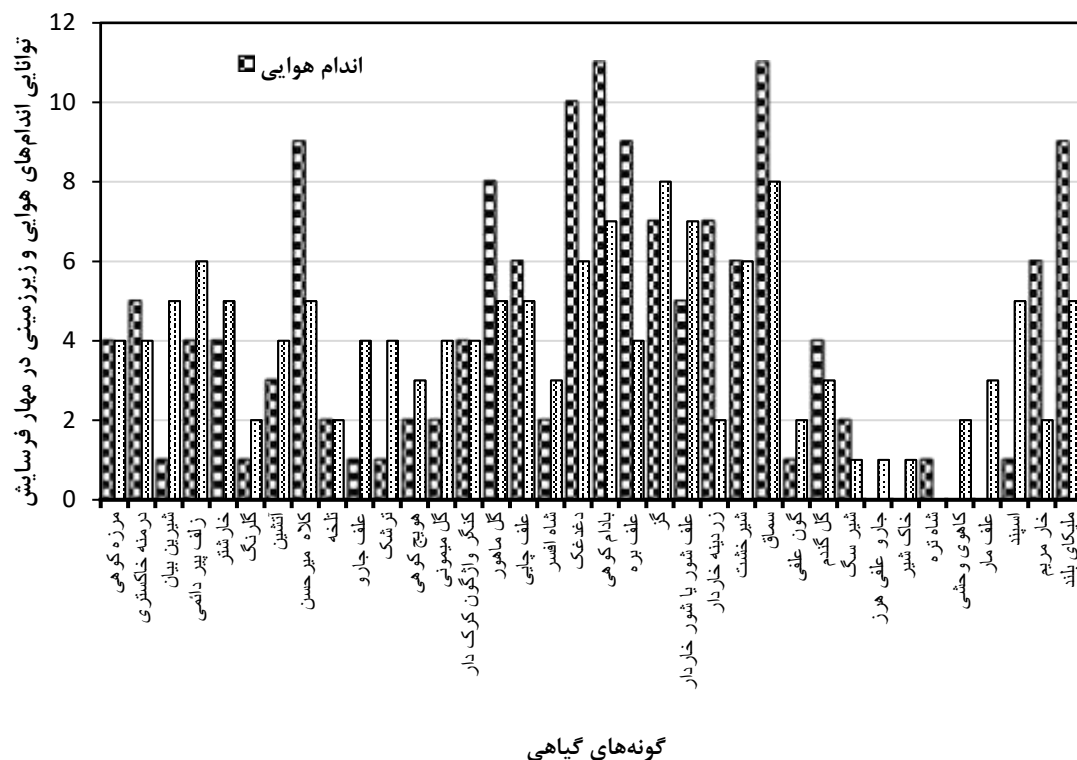
خوشه	نام فارسی	خانواده	گونه	خصوصیات گیاهان خوشه
	سماق	Anacardiaceae	<i>Rhus coriaria</i>	توانایی بسیار بالا در مهار فرسایش دیواره‌ای و ایجاد پایداری در دامنه‌ها، بسیار مقاوم به خمیدگی در مقابل جریان آب، مقاومت بسیار بالا در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته و توانایی بسیار بالا در به تله‌انداخت رسوبات و ذرات آلی و به‌طور کلی دارای توانایی بالا در مهار فرسایش
	دغدغک	Fabaceae	<i>Colutea persica</i> Boiss.	داشتن توانایی بالا تا بسیار بالا در مهار فرسایش و افزایش‌دهنده مقاومت خاک سطحی در مقابل جریان تمرکز یافته آب از طریق اندام ریشه، توانایی بالا و بسیار بالایی در ایجاد مانع در مقابل رسوب و ذرات مختلف، فاقد توانایی کافی در مهار فرسایش دیواره و خمیدگی در مقابل جریان رواناب
۷	خارشر یا کاروان کش	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	مقاومت بالا تا بسیار بالا در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته از طریق اندام‌های هوایی و زیرزمینی، تأثیر کم در پایداری دیواره‌ها، داشتن ضعف در به تله‌انداختن رسوبات و مواد جامد، مقاومت بسیار کم گونه زلف پیر دائمی و مقاومت متوسط شیر خشت در مقابل خمیدگی در برابر جریان آب
	علف چایی	Hypericaceae	<i>Hypericum scabrum</i> L.	
	درمنه خاکستری	Compositae	<i>Artemisia incana</i> (L.) Druce	
	مرزه کوهی	Lamiaceae	<i>Satureja intermedia</i>	
	زلف پیر دائمی	Gramineae	<i>Stipa pennata</i> L.	
۸	شیرخشت	Fabaceae	<i>Cotoneaster nummularia</i>	توانایی متوسط تا بالایی در مقابل جریان تمرکز یافته آب و در به تله‌انداختن رسوبات و ذرات مواد آلی، خمیدگی راحت در مقابل جریان آب، عدم امکان ایفای نقش اساسی و مهم در مهار ناپایداری در دیواره‌ها و دامنه‌ها
۹	زردینه خاردار	Compositae	<i>Xanthium spinosum</i> L.	توانایی متوسط تا بالایی در مقابل جریان تمرکز یافته آب و در به تله‌انداختن رسوبات و ذرات مواد آلی، خمیدگی راحت در مقابل جریان آب، عدم امکان ایفای نقش اساسی و مهم در مهار ناپایداری در دیواره‌ها و دامنه‌ها
	خار مریم	Compositae	<i>Silybum marianum</i> (L.)	
۱۰	علف بره	Gramineae	<i>Festuca Ovina</i> L.	داشتن توانایی متوسط تا بالا در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته، دارای توانایی زیادی در به تله‌انداختن رسوبات و مواد جامد دیگر، توانایی کم در مهار فرسایش در دیواره‌ها و مقاومت خمیدگی پایین تا متوسطی در مقابل جریان آب
	ملیکای بلند	Gramineae	<i>Melica Altissima</i> L.	
	کلاه میرحسن	Plumbaginaceae	<i>Acantholimon talagonicum</i> L.	
	گل ماهور	Scrophulariaceae	<i>Verbascum thapsus</i> L.	

گیاهان علفی جارو علفی هرز (*Bromus danthoniae* Trin.)، خاکشیر (*Sisymbrium altissimum* L.)، شیرسگ (*Euphorbia ieriana* Boiss. (Woron.) Prokh.) و شاه‌تره (*Frankenia hirsute*) در گروه اول قرار گرفته‌اند. در دو نمونه اول این خوشه امتیاز شاخص RSD یعنی توانایی کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته توسط ریشه گیاه، برابر یک بوده و امتیاز سایر شاخص‌ها نیز صفر است. امتیاز گونه علفی شیرسگ (*Euphorbia ieriana* Boiss. (Woron.) Prokh.) برای سفتی گیاه دو و برای ایجاد پایداری در دیواره‌ها یک است. در گونه شاه‌تره (*Frankenia hirsuta*) تنها امتیاز مربوط به شاخص تجمع رسوبات و مواد جامد یک است و امتیاز بقیه شاخص‌ها برابر صفر است.

در گیاهان متعلق به گروه دوم گونه‌های علفی و بوته‌ای وجود دارند که تماماً دارای توانایی متوسط تا بالایی برای کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته توسط ریشه گیاه هستند. در این گروه گونه‌های هویج کوهی (*Astrodaucus orientalis* (L.) Drude)، تلخه (*Acroptilon repens* (L.) DC.) و گلرنگ (*Carthamus tinctorium* L.) برای مقاومت در مقابل خمیدگی به وسیله جریان آب امتیازی برابر یک تا دو گرفته‌اند. گیاهان گروه سه همانند گروه دو بوده فقط توانایی ریشه آن‌ها در کاهش شدت فرسایش جریان رواناب‌ها خیلی بیشتر است. گروه چهار نیز همچون گروه سه علاوه بر توانایی بالا و بسیار بالا در کاهش شدت فرسایش جریانات تمرکز یافته رواناب‌ها، به مقدار کمی می‌توانند از میزان نیروی برشی آب کاسته و در مقابل حمل رسوبات مانع ایجاد کنند. در گروه پنج دو گونه بوته‌ای و درختچه‌ای علف شور (*Salsola kali*) و گز (*Tamarix ramosissima*) دارای امتیاز بالا در ایجاد پایداری در دیواره‌ها بوده و مقاومت زیادی در مقابل خمیدگی در برابر جریان آب دارند. هرچند این دو گونه مقاومت بالا در مقابل جریان فرسایشی تمرکز یافته دارند، ولی توانایی به تله انداخت رسوبات و ذرات آلی در آن‌ها کم تا متوسط است. گونه‌های درختچه‌ای گروه شش را می‌توان بهترین نمونه‌های گیاهی منطقه در مهار فرسایش دانست، چرا که در تمام شاخص‌های مربوط به توانایی اندام‌های هوایی و زیرزمینی تقریباً امتیاز بیشینه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. در گروه هفت چهار گونه‌ی علفی خارشر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.)، علف چایی (*Hypericum scabrum* L.)، درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce) و مرزه کوهی (*Satureja intermedia*) قرار دارند که بیشترین

امتیازات آن‌ها مربوط به دو شاخص توانایی کاهش فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته توسط ریشه گیاه و ایجاد مانع در مقابل حمل رسوب است. گونه علفی زلف پیردائمی (*Stipa pennata* L.) و گونه بوته‌ای شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*) چون دارای توانایی پیشینه‌ای در مهار فرسایش از طریق تراکم بالای ریشه و ساقه دارند، لذا در یک گروه جایی گرفته‌اند. همچنین گونه شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*) با داشتن اندام هوایی نسبتاً سفت می‌تواند در مهار فرسایش در دیواره‌ها و شیب‌ها و در ایجاد مانع در مقابل حمل رسوب مؤثر باشد. گونه‌های علفی زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.) و خار مریم (*Silybum marianum* L.) در گروه نهم جای گرفته‌اند و با داشتن تراکم ساقه‌ای بالا می‌توانند ضمن کاستن از نیروی برشی آب توانایی بالایی در مهار فرسایش داشته باشند، هرچند توانایی متوسط تا بالایی نیز در مقابل جریان تمرکز یافته آب و در به تله‌انداختن رسوبات و ذرات مواد آلی دارند.

در بین گیاهان گروه ده گونه‌های کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.) و گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.) بوته‌ای و گونه‌های علف بره (*Festuca Ovina* L.) و ملیکای بلند (*Melica altissima* L.) علفی هستند. این گونه‌ها علاوه بر توانایی بالا در ایجاد مانع در مقابل رسوبات، در برابر جریان‌ات تمرکز یافته نیز مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند. توانایی کمی در مهار فرسایش در دیواره‌ها و شیب‌ها داشته و مقاومت خمیدگی در مقابل جریان آب نیز پایین تا متوسط است. مجموع امتیازات مربوط به شاخص - های اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان در نمودار شکل ۴-۴ برای گیاهان بومی منطقه نمونه نشان داده شده است.



شکل ۴-۴- مقایسه توانایی اندام‌های هوای و زیرزمینی گیاهان بومی منطقه در مهار فرسایش

مقایسه مجموع مقادیر شاخص‌های مربوط به گیاهان نشان می‌دهد که هر دو اندام هوایی و ریشه گونه‌های مرزه کوهی، کنگر واژگون کرک‌دار، علف چایی، گز، زلف پیر دائمی، خارشتر و شیرخشت توانایی بالایی در مهار فرسایش دارند. گیاهان درمنه خاکستری، کلاه میرحسین، گل ماهور، دغغک، علف بره، سماق، خارمریم و ملیکای بلند با داشتن اندام هوایی بسیار مناسب و ریشه نسبتاً متراکم توانایی زیادی در مهار فرسایش دارند. گونه‌های شیرین‌بیان، آتشین، علف جارو، ترشک، هویج کوهی، گل میمونی، علف شور و اسپند با داشتن ریشه‌ی متراکم می‌توانند در مهار فرسایش تأثیر زیادی داشته باشند.

۴-۱-۶- گروه‌بندی گونه‌ها براساس توانایی مهار فرسایش

امتیازات گونه‌های گیاهی برای چهار معیار (۱) توانایی جلوگیری از فرسایش در مقابل جریان تمرکز یافته فرساینده، (۲) توانایی به تله‌انداختن رسوبات و ذرات مواد آلی، (۳) مقاومت در مقابل خمیدگی و کنده‌شدن توسط رواناب و سیل و (۴) توانایی افزایش پایداری دیواره‌ها و دامنه‌ها نشان داده شده است (جدول ۴-۴). مقایسه امتیازات چهار معیار مهارکننده فرسایش نیز نشان می‌دهد که چهار گونه سماق (*Rhus coriaria*),

بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss.) و گز (*Tamarix ramosissima*) با بیشترین مجموع امتیازات مناسب‌ترین گونه گیاهان بومی جهت مهار فرسایش سطحی، شیاری، خندقی و ناپایداری دامنه‌ی کم‌عمق هستند. همچنین در اولویت دوم گونه‌های گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، علف شور یا شور خاردار (*Salsola kali* L.)، ملیکای بلند (*Melica altissima* L.)، کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.)، علف بره (*Festuca Ovina* L.) و شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*) نیز می‌توانند از تشکیل و گسترش فرسایش شیاری و خندقی جلوگیری کرده و در احیاء پوشش گیاهی منطقه مورد استفاده قرار گیرند. بر همین اساس گروه سوم گونه‌های علفی علف چایی (*Hypericum scabrum* L.)، درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce)، خارشتر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.)، زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.)، زلف پیردائی (*Stipa pennata* L.) و مرزه کوهی (*Satureja intermedia*) هستند که با داشتن اندام هوایی و ریشه متراکم می‌توانند تا حدودی در مهار فرسایش پاشمانی و شیاری و حتی خندقی مؤثر باشند.

جدول ۴-۴- امتیازات مربوط به توانایی گیاهان منطقه در مهار فرسایش براساس چهار معیار

ردیف	نام فارسی	گونه	فرم رویشی	معیارها			مقاومت در مقابل فرسایش	توانایی به تله انداختن رسوبات و ذرات آلی	مقاومت در مقابل خمیدگی	پایداری دیواره‌ها و دامنه‌ها	جمع کل امتیازها
۱	سماق	<i>Rhus coriaria</i>	درختی	۴	۳	۴	۴	۳	۴	۴	۱۵
۲	بادام کوهی	<i>Amygdalus scoparia</i> Spach.	درختی	۴	۴	۳	۴	۴	۳	۳	۱۴
۳	دغدغک	<i>Colutea persica</i> Boiss.	درختی	۲/۵	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۱۳/۵
۴	گز	<i>Tamarix ramosissima</i>	درختی	۳	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۱۲
۵	کلاه میرحسن	<i>Acantholimon talagonicum</i> L.	بوته‌ای	۴	۳	۲	۴	۳	۲	۱	۱۰
۶	گل ماهور	<i>Verbascum thapsus</i> L.	بوته‌ای	۳	۴	۲	۴	۴	۲	۱	۱۰
۷	شور خاردار	<i>Salsola kali</i> L.	علفی	۲	۱	۳	۴	۴	۳	۴	۱۰
۸	ملیکای بلند	<i>Melica Altissima</i> L.	علفی	۴	۴	۱	۴	۴	۱	۱	۱۰
۹	علف بره	<i>Festuca ovina</i> L.	علفی	۴	۴	۱	۴	۴	۱	۰	۹
۱۰	شیرخشت	<i>Cotoneaster nummularia</i>	بوته‌ای	۳/۵	۱	۲	۴	۴	۲	۲	۸/۵
۱۱	علف چایی	<i>Hypericum scabrum</i> L.	علفی	۳	۴	۰	۴	۴	۰	۱	۸
۱۲	درمنه خاکستری	<i>Artemisia incana</i> (L.) Druce	علفی	۲	۴	۰	۴	۴	۰	۱	۷
۱۳	خارشتر یا کاروان کش	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	علفی	۲/۵	۳	۰	۴	۴	۰	۱	۶/۵
۱۴	زردینه خار	<i>Xanthium spinosum</i> L.	علفی	۲/۵	۳	۱	۴	۴	۱	۰	۶/۵
۱۵	مرزه کوهی	<i>Satureja intermedia</i>	علفی	۲	۴	۰	۴	۴	۰	۰	۶
۱۶	زلف پیر دائمی	<i>Stipa pennata</i> L.	علفی	۴	۰	۰	۴	۴	۰	۲	۶

ردیف	نام فارسی	گونه	فرم رویشی	معیارها			جمع کل امتیازها
				مقاومت در مقابل فرسایش	توانایی به تله انداختن رسوبات و ذرات آلی	مقاومت در پایداری دیواره ها و دامنه ها	
۱۷	کنگر واژگو	<i>Cirsium osseticum</i> L.	بوته‌ای	۲/۵	۱	۲	۵/۵
۱۸	خار مریم	<i>Silybum marianum</i> (L.)	علفی	۲/۵	۲	۱	۵/۵
۱۹	آتشین	<i>Aethionema grandiflorum</i> Bioss&Hohen	علفی	۲/۵	۲	۰	۴/۵
۲۰	گل میمونی	<i>Scrophulari deserti</i>	علفی	۱/۵	۱	۱	۴/۵
۲۱	گل گندم	<i>Centaurea depressa</i> L.	علفی	۲/۵	۱	۱	۴/۵
۲۲	شیرین بیان	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	علفی	۲	۰	۱	۴
۲۳	اسپند	<i>Peganum harmala</i>	علفی	۲	۱	۰	۴
۲۴	علف جارو	<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	علفی	۱/۵	۰	۱	۳/۵
۲۵	هویج کوهی	<i>Astrodaucus orientalis</i> (L.) Drude	علفی	۱/۵	۰	۲	۳/۵
۲۶	شاه افسر	<i>Tanacetum balsamitha</i> L. subsp. (balsamithades Bip.)	علفی	۱/۵	۰	۲	۳/۵
۲۷	تلخه	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	علفی	۱	۰	۲	۳
۲۸	ترشک	<i>Rumex acetosa</i> L.	علفی	۲	۰	۱	۳
۲۹	شیرسگ	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	علفی	۰	۰	۲	۳
۳۰	گلرنگ	<i>Carthamus tinctorium</i> L.	بوته‌ای	۱	۰	۱	۲
۳۱	گون علفی	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	علفی	۱/۵	۰	۰	۱/۵
۳۲	علف مار	<i>Caparis spinsoa</i>	بوته‌ای	۱/۵	۰	۰	۱/۵
۳۳	شاه تره	<i>Frankenia hirsuta</i>	علفی	۰	۱	۰	۱
۳۴	کاهوی وحشی	<i>Lactuca serriola</i> L.	علفی	۱	۰	۰	۱
۳۵	جارو علفی هرز	<i>Bromus danthoniae</i> Trin.	علفی	۰/۵	۰	۰	۰/۵

ردیف	نام فارسی	گونه	فرم رویشی	معیارها			جمع کل امتیازها
				مقاومت در مقابل فرسایش	توانایی به تله انداختن رسوبات و ذرات آلی	مقاومت در مقابل خمیدگی	
۳۶	خاک شیر	<i>Sisymbrium altissimum</i> L.	بوته‌ای	۰/۵	۰	۰	۰/۵

۵-۱- نتیجه‌گیری

روش‌های میدانی و آزمایشگاهی متعددی برای ارزیابی نقش پوشش گیاهی در کاهش فرسایش آبی خاک توسعه یافته‌اند. پلات‌های فرسایش و آزمایش باران مصنوعی از رایج‌ترین روش‌های میدانی محسوب می‌شوند که امکان اندازه‌گیری مستقیم رواناب و رسوب و مقایسه اثر گونه‌ها و تراکم پوشش گیاهی را فراهم می‌کنند. قابلیت کنترل شرایط و تکرارپذیری این روش‌ها، آن‌ها را به ابزارهایی دقیق و قابل اعتماد در بررسی اثر پوشش گیاهی بر فرسایش خاک تبدیل کرده است.

در کنار اندازه‌گیری مستقیم فرسایش، شاخص‌های مبتنی بر ویژگی‌های پوشش گیاهی نظیر درصد پوشش، شاخص سطح برگ و ارزیابی نقش سامانه ریشه‌ای، ابزارهای ساده و کم‌هزینه‌ای برای سنجش توان فرسایش‌کاهی گیاهان فراهم می‌کنند. این شاخص‌ها امکان بررسی عددی و مقایسه‌ای تأثیر اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان بر کاهش رواناب، تثبیت خاک و مهار فرسایش را فراهم می‌سازند.

روش‌های برداشت زمینی، عکس‌برداری و سنجش از دور نیز به‌عنوان ابزارهای مکمل، امکان پایش پوشش گیاهی و تحلیل الگوی پراکنش گونه‌ها را در مقیاس‌های مختلف فراهم می‌کنند. ثبت تغییرات زمانی پوشش گیاهی و شاخص‌های وابسته به آن، بستر مناسبی برای تحلیل‌های چندمعیاری و برنامه‌ریزی مدیریت منابع طبیعی ایجاد می‌کند.

از سوی دیگر، مدل‌های کمی فرسایش خاک نظیر USLE و RUSLE با در نظر گرفتن عامل پوشش گیاهی (C) امکان پیش‌بینی اثر گونه‌های مختلف و شیوه‌های مدیریتی بر میزان فرسایش را فراهم می‌آورند. ترکیب داده‌های میدانی با شاخص‌های پوشش گیاهی در این مدل‌ها، چارچوبی قابل اعتماد برای ارزیابی توان حفاظتی گیاهان ارائه می‌دهد.

به‌طور کلی، تلفیق اندازه‌گیری مستقیم فرسایش، شاخص‌های پوشش گیاهی و مدل‌های کمی، چارچوبی جامع و نظام‌مند برای ارزیابی توان گیاهان در مهار فرسایش آبی فراهم می‌کند و انتخاب علمی گونه‌ها و ترکیب‌های مناسب پوشش گیاهی را برای مدیریت پایدار خاک امکان‌پذیر می‌سازد.

در این میان، روش ارزیابی کمی توانایی فرسایش‌کاهی گیاهان بر پایه خصوصیات توأم اندام‌های هوایی و زیرزمینی، رویکردی چندمعیاری مبتنی بر اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی است که نقش واقعی گونه‌های گیاهی را در مهار اشکال مختلف فرسایش آبی به‌صورت فرآیندی بررسی می‌کند. در این چارچوب، تیپ‌های گیاهی منطقه به روش فیزیونومیک-فلورستیک تفکیک شده و با استفاده از ترانسکت و پلات‌های استاندارد، الگوی پراکنش، تراکم و پوشش گونه‌ها ثبت می‌شود. سپس گونه‌های غالب و بومی انتخاب‌شده و ویژگی‌های ساختاری آن‌ها در دو بخش اندام‌های هوایی و زیرزمینی اندازه‌گیری می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که سامانه ریشه‌ای نقش اصلی و مؤثرتر را در کاهش تولید رسوب ایفا می‌کند، درحالی که اندام‌های هوایی سهم بیشتری در کاهش رواناب و کنترل سرعت جریان سطحی دارند. این تفاوت عملکرد بیانگر ضرورت بهره‌گیری همزمان از اندام‌های هوایی و زیرزمینی در مدیریت منابع خاک و آب، به‌ویژه در کاهش رواناب و فرسایش است. ساقه‌ها، برگ‌ها و ریشه‌ها با کاهش سرعت جریان سطحی، افزایش نفوذ آب، مهار ذرات خاک و تقویت ساختار خاک، علاوه بر کنترل فرسایش، موجب افزایش پایداری شیب‌ها نیز می‌شوند. این روش، برخلاف رویکردهایی که صرفاً بر درصد پوشش یا عامل (C) تکیه دارند، مکانیسم‌های واقعی مهار فرسایش را به‌طور مستقیم ارزیابی می‌کند که شامل کاهش سرعت و انرژی جریان سطحی از طریق تراکم ساقه (SD) و شاخص سفتی مکانیکی (MEI)، توانایی به‌دام‌اندازی رسوبات از طریق شاخص ایجاد مانع (SOP)، کاهش فرسایش در جریان‌های تمرکز یافته به کمک توانایی ریشه (RSD) و افزایش مقاومت برشی و پایداری دامنه‌ها از طریق چسبندگی افزوده‌شده توسط ریشه (Cr) است.

تبدیل مقادیر این شاخص‌ها به امتیاز استاندارد (۰ تا ۴) امکان مقایسه عینی گونه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها را فراهم می‌کند. استفاده از نمودارهای ستاره‌ای و تحلیل خوشه‌ای نیز فرآیند انتخاب گونه مناسب برای شرایط مختلفی نظیر سطح دامنه، بستر آبراهه یا دیواره خندق را هدفمند می‌سازد. نتایج این رویکرد نشان می‌دهد که با پیشرفت فرسایش از حالت سطحی به شیب‌اری و خندقی، نقش حفاظتی از تاج‌پوشش گیاهی به سامانه ریشه‌ای منتقل می‌شود؛ بنابراین ارزیابی همزمان اندام‌های هوایی و زیرزمینی برای انتخاب صحیح گونه‌ها، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ضروری است.

نتایج پژوهش موردی به‌دست‌آمده از مناطق جنوبی استان اردبیل نشان داد با توجه به توانایی متفاوت گونه‌های گیاهی در کنترل فرسایش، استفاده از ترکیب گونه‌ها در مورفولوژی‌های مختلف فرسایشی به‌عنوان یک راهبرد مدیریتی مؤثر پیشنهاد می‌شود. کاشت ترکیبی گونه‌های گیاهی می‌تواند به‌دلیل تکمیل عملکردهای حفاظتی اندام‌های هوایی و زیرزمینی، تأثیر بیشتری در مهار فرسایش نسبت به استفاده از تک‌گونه‌ها داشته باشد. گونه‌های سماق (*Rhus coriaria*)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، گز (*Tamarix ramosissima*)، علف شور (*Salsola kali*)، گل ماهور (*Verbascum thapsus* L.)، کلاه میرحسن (*Acantholimon talagonicum* L.)، ملیکای بلند (*Melica altissima* L.)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularia*) و علف بره (*Festuca ovina* L.) برای مهار اشکال مختلف فرسایش از جمله فرسایش شیاری و خندقی بسیار مناسب ارزیابی شدند. این گونه‌های بومی درختچه‌ای، بوته‌ای و علفی قابلیت آن را دارند که در بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها، خندق‌ها و دامنه‌های منطقه به‌صورت طبیعی احیاء شده یا از طریق عملیات کاشت مورد استفاده قرار گیرند. در مناطقی که جریانات سطحی تمرکز می‌یابند یا در محل خروجی خندق‌ها، گونه‌های علف چایی (*Hypericum scabrum* L.)، درمنه خاکستری (*Artemisia incana* (L.) Druce)، خارشتر (*Alhagi pseudalhagi* (M.B.) Desv.)، زردینه خاردار (*Xanthium spinosum* L.)، زلف پیر دائمی (*Stipa pennata* L.) و مرزه کوهی (*Satureja intermedia*) می‌توانند با افزایش رسوب‌گذاری و ته‌نشینی مواد حمل‌شده توسط جریان، نقش حفاظتی مؤثری ایفا کنند.

همچنین گونه‌های سماق (*Rhus coriaria*)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، گز (*Tamarix ramosissima*)، علف شور (*Salsola kali*)، کنگر واژگون کرک‌دار (*Cirsium osseticum* L.) و گل ماهور (*Verbascum* sp.) در افزایش پایداری سواحل رودخانه‌ها و مسیل‌ها قابل توصیه هستند. از سوی دیگر، ترکیب گونه‌های سماق (*Rhus coriaria*)، بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.)، دغدغک (*Colutea persica* Boiss.)، گز (*Tamarix ramosissima*)، علف شور (*Salsola kali*)، علف بره (*Festuca ovina* L.) و درمنه (*Artemisia fragrans*) می‌تواند در احیاء و ترمیم پوشش گیاهی

منطقه و در نتیجه کاهش شدت فرسایش در جوانب و بالادست خندق‌ها و دامنه‌های فرسایشی منطقه مورد استفاده قرار گیرد. برتری این رویکرد نسبت به روش‌های سنتی در آن است که:

- فرآیندمحور و سازوکار است، نه صرفاً توصیفی؛
 - قابلیت کاربرد در تمامی فرم‌های رویشی (علفی، بوته‌ای، درختچه‌ای و درختی) را دارد؛
 - از مقیاس گیاه تا مدیریت عرصه‌های فرسایش‌پذیر قابل تعمیم است؛
 - ابزار تصمیم‌سازی علمی برای مدیران منابع طبیعی و آب‌خیزداری فراهم می‌کند.
- در مجموع، این چارچوب با اتکا به شاخص‌های قابل اندازه‌گیری، تکرارپذیر و مقایسه‌پذیر، به‌عنوان یک سامانه تصمیم‌یار علمی می‌تواند در انتخاب گونه‌های بومی مناسب برای مهار بیولوژیک فرسایش و اجرای طرح‌های احیای پوشش گیاهی در عرصه‌های حساس مورد استفاده قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان اعلام می‌دارند که این اثر با رعایت کامل اخلاق نشر تهیه شده و هیچ‌گونه سرقت ادبی، رفتار سوء، جعل داده‌ها، ارسال یا انتشار هم‌زمان در جای دیگر صورت نپذیرفته است. همچنین هیچ منافع تجاری در راستای آن وجود نداشته و وجهی بابت ارائه اثر پیش از این دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان: نویسنده مسئول، داده‌برداری و تحلیل داده‌ها و نتایج و تهیه و تدوین دستنامه.

بیانیه: در فرآیند تدوین این اثر، نویسنده از ابزار هوش مصنوعی ChatGPT به‌عنوان یک ابزار کمکی برای استخراج بخشی از مطالب از گزارش‌های پژوهش، ویرایش و بهبود برخی قسمت‌های متن و نیز طراحی فلوچارت‌ها براساس اطلاعات و محتوای ارائه‌شده به آن استفاده کرده است. مسئولیت نهایی صحت، دقت و محتوای علمی این اثر به‌طور کامل بر عهده نویسنده است.

خوداظهاری: این دستنامه بر پایه نتایج پژوهش‌های اصیل انجام‌شده توسط مؤلف تدوین شده است. بخشی از مبانی علمی و یافته‌های اولیه آن از گزارش‌های پژوهشی با عنوان‌های "شناسایی و بررسی پوشش گیاهی مستقر بر روی سازندهای مارنی به‌منظور تعیین نقش حفاظتی آن‌ها در استان اردبیل" (گزارش

نهایی پروژه پژوهشی، مجری: رضا طلایی و همکاران، ۱۳۹۹) و "ارزیابی توانایی گونه‌های گیاهی حوضه قوری‌چای در کاهش فرسایش آب‌کندها (مغان، استان اردبیل)" (گزارش نهایی طرح پژوهشی، مجری: رضا طلایی و همکاران، ۱۳۹۸) و مقالات علمی مستخرج از همان تحقیقات استخراج شده است؛ بااین‌حال، محتوای حاضر صرفاً بازنشر آثار پیشین نیست، بلکه نتیجه فرایند گسترده‌ای از بازنگری، تکمیل، یکپارچه‌سازی، به‌روزرسانی و توسعه علمی مطالب پیشین است. در تدوین این اثر، علاوه بر بازنویسی و سازمان‌دهی مجدد یافته‌های پژوهشی، مطالب جدیدی شامل روش‌های نوین ارزیابی فرسایش، شیوه‌های مختلف اندازه‌گیری و پایش پوشش گیاهی، کاربرد سنجش از دور و شاخص‌های طیفی، معرفی مدل‌های کمی ارزیابی، تشریح روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی، جمع‌بندی کاربردی روش‌ها، معیارهای انتخاب گونه‌های گیاهی و دستورالعمل‌های اجرایی برای استفاده در پروژه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری با جزئیات بیشتر و به‌صورت گام‌به‌گام به کتاب افزوده شده است. همچنین منابع علمی جدید و یافته‌های تکمیلی به متن اضافه شده و ساختار مطالب به‌گونه‌ای بازطراحی شده است که از یک گزارش پژوهشی یا مقاله علمی فراتر رفته و به یک دستنامه فنی و کاربردی مهم در حفاظت از منابع خاک و در نتیجه آن آب تبدیل شود. ازاین‌رو، این اثر یک تألیف مستقل مبتنی بر دستاوردهای پژوهشی مؤلف محسوب می‌شود که با هدف انتقال دانش، تسهیل بهره‌برداری عملی از نتایج تحقیقات و ارائه راهنمایی جامع برای پژوهشگران، کارشناسان، دانشجویان و مجریان طرح‌های حفاظت خاک و احیای پوشش گیاهی تدوین شده است. بدین ترتیب، این دستنامه نسخه‌ای توسعه‌یافته، تکمیل‌شده، روزآمد و کاربردمحور از نتایج پژوهش‌های انجام‌شده توسط مؤلف است.

منابع و مآخذ

- ارزانی، ح. و عابدینی، م. ۱۳۹۴ الف. ارزیابی مرتع: ممیزی و پایش (جلد ۱). مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. ۲۲۴ صفحه.
- ارزانی، ح. و عابدینی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی مرتع: اندازه‌گیری پوشش گیاهی (جلد ۲). مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. ۲۹۷ صفحه.

- اکرمیان، م.، دستورانی، م. ت.، فرزام، م. و عبدی، ا. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر ریشه گز در افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک کناره‌های کشف‌رود. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۲): ۳۲۸-۳۳۵.
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.107217.1173>
- پورنصرالله، م. و علی‌دوست، م. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر کشت گیاهان علوفه‌ای در کاهش رواناب و حفاظت خاک در مناطق ییلاقی رودسر. در مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور تهران، ۶ لغایت ۹ شهریورماه ۱۳۸۴، ص ص ۱۰-۱۴.
- ثروتی، م. ر.، قدوسی، ج. و دادخواه، م. ۱۳۸۷. عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۸: ۲۰-۳۳.
- حاجی‌علیلو، ب. و رضایی، ح. ۱۳۷۸. نقشه زمین‌شناسی گیوی، ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی کشور.
- خداینده، ا. ا. و امینی‌فضل، ع. ۱۳۷۶. نقشه زمین‌شناسی اردبیل، ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- درویش‌زاده، ع. ۱۳۸۰. زمین‌شناسی ایران. مؤسسه انتشارات امیرکبیر. ۹۰۱ صفحه.
- دولت‌خواهی، م. ۱۳۸۰. بررسی رابطه بین خصوصیات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی با تولید رسوب نهشته‌های لسی در حوزه آبخیز کچیک (زیرحوضه گرگان‌رود). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۷۵ صفحه.
- ربیعی، م. ۱۳۹۳. اندازه‌گیری و ارزیابی مراتع. انتشارات دانشگاه پیام نور. ۲۵۰ صفحه.
- رستگار، ش.، بارانی، ح.، دریجانی، ع.، بردی‌شیخ، و.، قربانی، ج. و قربانی، م. ۱۳۹۳. مقایسه میزان هدررفت خاک و رسوب برخی سازندهای زمین‌شناسی در گرادیان‌های پوشش گیاهی با استفاده از شبیه‌ساز باران (مطالعه موردی: مراتع ییلاقی بلده نور استان مازندران). منابع طبیعی ایران، ۶۷(۱): ۳۱-۴۴.

- رستمی، ف. و مریدی، ع. ۱۴۰۳. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر شدت، مدت و دوره بازگشت خشکسالی در محدوده مطالعاتی اردبیل. مدیریت آب و آبیاری، ۱۴ (۴): ۸۷۷-۸۹۵. <https://doi.org/10.22059/jwim/2024.379156.1173>
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل ۱۳۸۶. *مطالعات طرح آمایش استان اردبیل: تحلیل وضعیت و ساختار، تحلیل وضعیت استان و تحلیل وضعیت منابع طبیعی و محیط زیست* (جلد ۱). سازمان برنامه و بودجه کشور. ۲۶۰ صفحه.
- سهرابی، ا.، طهماسبی‌پور، ن.، حقی‌زاده، ع. و زینی‌وند، ح. ۱۴۰۱. بررسی اثر پوشش گیاهی بر فرسایش آبی با استفاده از مدل اصلاح‌شده جهانی هدررفت خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مادیان‌رود لرستان). *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۱۰ (۳۹): ۱۱-۲۰.
- شاهین، غ. ۱۳۸۴. نقش پوشش گیاهی در مهار فرسایش خندقی. در *مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور*. (صص. ۳۴۱-۳۴۶).
- شریعت‌جعفری، م.، داودی، م.، صفائی، م. و پرتوی، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیر سامانه ریشه‌ای کلهو در مقاوم‌سازی خاک با استفاده از شاخص‌های RDR و RDDI. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۶ (۲): ۱۰۷-۱۱۴. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2014.101719>
- صادقی، س. ح. ر. و پرویزی، ی. ۱۴۰۱. *مطالعه و اندازه‌گیری فرسایش آبی*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۳۹۷ صفحه.
- صوفی، م. ۱۳۸۴. تعیین تأثیر پوشش گیاهی و توسعه شهری در گسترش خندق‌ها در جنوب استان فارس. در *مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور*. صص. ۳۵۰-۳۵۵.
- طلائی، ر.، حسن‌پناه، د.، بیرامی، ب. و محمدی، ح. ۱۴۰۴. اثر کاربرد کشت متناوب غلات و گیاهان علوفه‌ای بر مهار فرسایش خاک و افزایش تاب‌آوری به خشکسالی: مطالعه موردی استان اردبیل. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۹ (۶۹): ۳۸-۵۹.

- طلائی، ر.، عظیمی‌مطعم، ف.، پیروان، ح. ر.، جعفری اردکانی، ع. و رستمی‌کیا، ی. ۱۳۹۹. شناسایی و بررسی پوشش گیاهی مستقر بر روی سازندهای مارنی به‌منظور تعیین نقش حفاظتی آنها در استان اردبیل (گزارش نهایی پروژه پژوهشی). پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۲۰۹ صفحه.
- عرب‌خدری، م. و نور، ح. ۱۴۰۰. پژوهش‌های تجربی فرسایش و رسوب (در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری سنگانه): فرصت‌های تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۳۳۶ صفحه.
- فریدی، م. و انوری، ا. ۱۳۸۵. نقشه زمین‌شناسی هشتجین، ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قدوسی، ج. ۱۳۷۳. رشد و گسترش خندق‌ها. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور. ۲۸ صفحه.
- کاتبی‌کرد، آ.، خالدی‌درویشان، ع. و علوی، س.ج. ۱۳۹۷. اثر مدت بارندگی بر پاسخ هیدرولوژیکی کرت‌های صحرایی تحت شبیه‌سازی باران. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۹(۱۷): ۴۹-۵۶.
<https://doi.org/10.29252/jwmr.9.17.49>
- مارتین، ک. و کاکر، پ. ۱۳۸۰. توصیف و تحلیل پوشش گیاهی (م. مصداقی، مترجم). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۷ صفحه.
- محمودآبادی، م.، و عرب‌خدری، م. ۱۳۸۴. بررسی شدت و یکنواختی بارش در شبیه‌ساز باران و فرسایش پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور. در مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. صص. ۵۸۷-۵۸۹.
- مصداقی، م. ۱۳۷۴. مرتع‌داری در ایران. دانشگاه امام رضا (ع). ۲۵۱ صفحه.
- مقدم، م. ر. ۱۳۷۹. مرتع و مرتع‌داری. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۷۰ صفحه.
- مؤید، م. ۱۳۷۰. مطالعه پتروگرافی و پتروشیمیایی سنگ‌های ولکانیک و پلوتونیک منطقه ذاکر (جنوب باختری طارم) در ارتباط با ژنز مس، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز. ۲۱۰ صفحه.

- هاتفی، م.، صادقی، س.ح.ر.، عرفان‌زاده، ر.، و بهزادفر، م. ۱۳۹۹. بررسی آزمایشگاهی نقش پوشش گیاهی در تولید رواناب در کرت‌های کوچک تحت چرخه انجماد-ذوب. آب و خاک، ۳۴(۴): ۷۵۵-

۷۶۴. <https://doi.org/10.22067/jsw.v34i4.76389>

- همتی، ر.، دولتی‌مهر، ع.، نصیری‌فر، ع.، شهبازی، م.، هژبرپور، ق. و آقائی، غ. ۱۳۸۶. طرح آمایش زمین (گزارش نهایی طرح تحقیقاتی). مرکز تحقیقات کاربردی هواشناسی استان اردبیل. ۱۴۳ صفحه.

- یوسفی‌روشن، م. ر. و عمونیا، ح. ۱۴۰۱. برآورد سطح پوشش گیاهی و زمین‌های زراعی شهرستان بابلسر از طریق تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ با استفاده از شاخص NDVI. فصلنامه علوم و تکنولوژی

محیط زیست، ۲۵(۸): ۱۴۳-۱۵۶. <https://doi.org/10.30495/jest.2022.63078.5565>

- Adekalu, K.Q., Okunada, D.A. & Osunbitan, J.A. 2006. Compaction and mulching effect on soil loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. *Geoderma*, 137: 226-230. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.012>.
- Allen, P.M., Arnold, J.G., Auguste, L., White, J. & Dunbar, J. 2018. Application of a simple headcut advance model for gullies. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43: 202-217. <https://doi.org/10.1002/esp.4233>.
- Andreu, V., Rubio, J.L. & Cerni, R. 1995. Effect of Mediterranean shrub on water erosion control. *Environmental Monitoring and Assessment*, 37: 5-15. <https://doi.org/10.1007/BF00546877>.
- Avand, M., Janizadeh, S., Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R., Khosrobeigi Bozchaloei, S. & Blaschke, T. 2019. A comparative assessment of random forest and k-nearest neighbor classifiers for gully erosion susceptibility mapping. *Water*, 11, 2076, p. 19. <https://doi.org/10.3390/w11102076>.
- Beniaich, A., Silva, M., Avalos, F., Duarte de Menezes, M. & Cândido, B. 2019. Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(1): 49-60. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p49>.
- Bochet, E., Poesen, J. & Rubio, J.L. 2006. Runoff and soil loss under individual plants of a semi arid Mediterranean shrubland: Influence of plant morphology and rainfall intensity. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 536-549. <https://doi.org/10.1002/esp.1351>.
- Borrelli, P., Van Oost, K., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E. & Panagos, P. 2018. A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: Coupling on-site erosion with

- sediment transfer and carbon fluxes. *Environmental Research*, 161: 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.009>.
- Cerdà, A. 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 362–368. <https://doi.org/10.2136/sssaj.1999.03615995006300020014x>.
 - Chen, J.M. & Black, T.A. 1991. Measuring leaf-area index of plant canopies with branch architecture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57: 1–12.
 - Chen, J.M. & Black, T.A. 1992. Defining leaf-area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment*, 15: 421–429.
 - Coulloudon, B., Eshelman, K., Gianola, J., Habich, N., Hughes, L., Johnson, C., Pellant, M., Podborny, P., Rasmussen, A., Robles, B., Shaver, P., Spehar, J. & Willoughby, J. 1999. *Sampling vegetation attributes*. Bureau of Land Management, National Applied Resource Sciences Center. p. 163.
 - Dahanayake, A.C., Webb, J.A., Greet, J. & Brookes, J.D. 2024. How do plants reduce erosion? An Eco Evidence assessment. *Plant Ecology*, 225: 593–604. <https://doi.org/10.1007/s11258-024-01414-9>.
 - Davies, R.G., Jones, C.R., Hamzpour, B., & Clark, G.C. 1972. *The geology of the Masuleh sheet (Northwest Iran)*. Tehran: Geological Survey of Iran, No. 24, 110 pp.
 - De Baets, S., Poesen, J., Gyssels, G. & Knapen, A. 2006. Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow. *Geomorphology*, 76(1–2): 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.10.002>.
 - De Baets, S., Poesen, J., Knapen, A. & Galindo, P. 2007a. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 1323–1345. <https://doi.org/10.1002/esp.1470>.
 - De Baets, S., Poesen, J., Knapen, A., Barbera, G.G., & Navarro, J.A. 2007b. Root characteristics of representative Mediterranean plant species and their erosion-reducing potential during concentrated runoff. *Plant and Soil*, 294: 169–183. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9244-2>.
 - De Baets, S., Poesen, J., Reubens, B., Muys, B., De Baerdemaeker, J. & Meersmans, J. 2009. Methodological framework to select plant species for controlling rill and gully erosion: Application to a Mediterranean ecosystem. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 1374–1392. <https://doi.org/10.1002/esp.1826>.
 - De Baets, S., Poesen, J., Reubens, B., Wemans, K., De Baerdemaeker, J. & Muys, B. 2008. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. *Plant and Soil*, 305: 207–226. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9553-0>.

- De Baets, S., Quine, T.A. & Poesen, J. 2014. Root strategies for rill and gully erosion control. In Morte, A., & Varma, A. (Eds.), *Root Engineering, Soil Biology 40* (pp. 297–323). Springer-Verlag.
- Dong, Y., Xiong, D., Su, Z., Li, J., Yang, D., Shi, L. & Liu, G. 2014. The distribution of and factors influencing the vegetation in a gully in the Dry-hot Valley of southwest China. *Catena*, 116: 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.12.009>.
- Duan, G., Leng, C., Zhang, Z., Zheng, C. & Wen, Z. 2024. Quantitative study on the effects of vegetation and soil on runoff and sediment in the Loess Plateau. *Forests*, 15(8): 1341, 1–15. <https://doi.org/10.3390/f15081341>.
- Dumbrovský, M., Drbal, K., Sobotková, V. & Uhrová, J. 2020. An approach to identifying and evaluating the potential formation of ephemeral gullies in the conditions of the Czech Republic. *Soil and Water Research*, 15(1): 38–46. <https://doi.org/10.17221/231/2018-SWR>.
- Fang, H., Baret, F., Plummer, S. & Schaepman-Strub, G. 2019. An overview of global leaf area index (LAI): Methods, products, validation, and applications. *Reviews of Geophysics*, 57: 739–799. <https://doi.org/10.1029/2018RG000608>.
- FAO. 2019. *Soil erosion: The greatest challenge to sustainable soil management*. Rome: FAO. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. p. 89.
- Farhadi, A., Ahmadi, H., Soufi, M., Motamedvaziri, B. & Moeini, A. 2018. Assessment of the potential of semi-arid plants to reduce soil erosion in the Konartakhteh watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(518): 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3805-y>.
- Flanagan, D.C., Ascough, J.C., Nieber, J.L., Misra, D. & Douglas-Mankin, K.R. 2013. Advances in soil erosion research: Processes, measurement, and modeling. *Transactions of the ASABE*, 56(2): 455–463. <https://doi.org/10.13031/2013.42666>.
- Fu, B.J., Wang, Y.F., Lu, Y.H., He, C.S., Chen, L.D. & Song, C.J. 2009. The effects of land-use combinations on soil erosion: A case study in the Loess Plateau of China. *Progress in Physical Geography*, 33(6): 793–804. <https://doi.org/10.1177/0309133309350264>.
- Gomide, P.H.O., Silva, M.L.N., de Castro, G.C., Soares, C.R.F.S., Oliveira, A.H. & Curi, N. 2014. Vegetation characterization in gully areas as basis for soil conservation. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2): 149–159.
- Gower, S.T., Kucharik, C.J. & Norman, J.M. 1999. Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 70: 29–51.
- Gregory, P.J. 2006. *Plant Roots: Growth, Activity and Interaction with Soils*. Blackwell Publishing. 10.1002/9780470995563.
- Guo, M., Wang, W., Shi, Q., Chen, T., Kang, H., Li, J. 2019. An experimental study on the effects of grass root density on gully headcut erosion in the gully region of China's Loess

- Plateau. *Land Degradation and Development*, 30(17): 2017–2025. <https://doi.org/10.1002/ldr.3404>.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E. & Li, Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Progress in Physical Geography*, 29(2): 189–217. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>.
 - Herrick, J.E., Van Zee, J.W., Havstad, K.M., Burkett, L.M. & Whitford, W.G. 2005. *Monitoring manual for grassland, shrubland and savanna ecosystems* (Volume I:Quick Start). U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service & Bureau of Land Management. p. 36.
 - Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).
 - Ihuoma, S.O., Nwaigwe, K.N. & Nzediegwu, C. 2017. Erosion control using Bermuda grass-lined channels: A case study of South Eastern Nigeria. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(6): 1100–1109.
 - Jakab, G., Madarás, B., Őrsi, A., Szalai, Z. & Kertész, A. 2012. Gullies of two Hungarian regions – A case study. *Hungarian Geographical Bulletin*, 60(4): 325–342.
 - Katuwal, S., Vermang, J., Cornelis, W.M., Gabriels, D., Moldrup, P. & de Jonge, L.W. 2013. Effect of root density on erosion and erodibility of a loamy soil under simulated rain. *Soil Science*, 178(1): 29–36. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e318285b052>.
 - Kim, J.K., Yang, D.Y., Kim, M.S. & Onda, Y. 2009. Evaluation of interrill erosion under forest canopy. *Hydrological Research Letters*, 3: 36–40. <https://doi.org/10.3178/hrl.3.36>.
 - Kou, M., Jiao, J., Yin, Q., Wang, N., Wang, Z., Li, Y., Yu, W., Wei, Y., Yan, F. & Cao, B. 2016. Successional trajectory over 10 years of vegetation restoration of abandoned slope croplands in the hill-gully region of the Loess Plateau. *Land Degradation and Development*, 27: 919–932. <https://doi.org/10.1002/ldr.2356>.
 - Kouwen, N., Li, R.M. & Simons, D.B. 1981. Flow resistance in vegetated waterways. *Transactions of the ASAE*, 24: 684–698. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.34321>.
 - Kouwen, N., Li, R. & Members, A. 1980. Biomechanics of vegetative channel linings. *Journal of the Hydraulics Division*, 106: 1085–1103.
 - Kussner, R. & Mosandl, R. 2000. Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany. *Canadian Journal of Forest Research*, 30: 440–447.
 - Lang, A.R.G., McMurtrie, R.E., & Benson, M.L. 1991. Validity of surface area indices of *Pinus radiata* estimated from transmittance of the sun's beam. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57: 157–170.

- Le Dantec, V., Dufrêne, E., & Saugier, B. 2000. Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands. *Forest Ecology and Management*, 134: 71–81.
- Li, M., Li, T., Zhu, L., Meadows, M. E., Zhu, W. & Zhang, S. 2021. Effect of land use change on gully erosion density in the Black Soil Region of Northeast China from 1965 to 2015: A case study of the Kedong County. *Frontiers in Environmental Science*, 9: 652933. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.652933>.
- Liu, H.Q. & Huete, A.R. 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2): 457–465. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1995.8746027>.
- Liu, J., Gao, G., Wang, S., Jiao, L., Wu, X. & Fu, B.J. 2018. The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences*, 28(1): 59–78. <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1459-z>.
- Liu, X., Li, H., Zhang, S., Cruse, R.M. & Zhang, X. 2019. Gully erosion control practices in northeast China: A review. *Sustainability*, 11, 5065: 1–16. <https://doi.org/10.3390/su11185065>.
- Ma, Y.L., Liu, Y.F., López-Vicente, M. & Wu, G.L. 2023. Divergent shift of normal alpine meadow towards shrub and degraded meadows reduces soil water retention and storage capacity. *Journal of Hydrology*, 625: 130109. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130109>.
- Majhi, A., Bhattacharjee, P., Harris, A., Evans, M. & Shuttleworth, E. 2025. Gully erosion is a serious obstacle in India's land degradation neutrality mission. *Scientific Reports*, 15: 89613. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89613-w>.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. & Qiu, G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: A case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7(11): 2636–2651. <https://doi.org/10.3390/s7112636>.
- McGregor, K.C., Mutchler, C.K., Johnson, J.R. & Pogue, D.E. 1996. *Cooperative soil conservation studies at Holly Springs (1956–1996)* (Bulletin 1044). Mississippi State University. p. 29.
- Menegbo, E.M. & Jackson, K.P. 2025. Assessment of soil adjusted vegetation index (SAVI) for monitoring vegetation dynamics in Rivers State, Nigeria. In *Proceedings of the Nigerian Institution of Surveyors 59th AGM and Conference* (Enugu, Nigeria, June 21–30, 2025). Nigerian Institution of Surveyors. p. 8.
- Mickovski, S.B. & Van Beek, L.P.H. 2009. Root morphology and effects on soil reinforcement and slope stability of young vetiver (*Vetiveria zizanioides*) plants grown in semi-arid climate. *Plant and Soil*, 324: 43–56. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0130-y>.

- Mirzaee, S., Zainudini, M. & Sardarzaei, M. 2025. Gully erosion development and the role of vegetation cover in arid area during an extreme flood (Case study: Dashtiari gully, Iran). *Ecological Engineering*, 215: 107600. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107600>.
- Mitsch, W.J. & Jørgensen, S.E. 2003. Ecological engineering: A field whose time has come. *Ecological Engineering*, 20: 363–377. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2003.05.001>.
- Molina, A., Govers, G., Cisneros, F. & Vanacker, V. 2009. Vegetation and topographic controls on sediment deposition and storage on gully beds in a degraded mountain area. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 755–767. <https://doi.org/10.1002/esp.1747>.
- Morgan, R.P.C. 2005. *Soil erosion and conservation*. Blackwell Science Ltd, UK, 304 pp. PDF: https://library.uniteddiversity.coop/Permaculture/Soil_Erosion_and_Conservation-Morgan.pdf.
- Morgan, R.P.C., McIntyre, K., Vickers, A.W., Quinton, J.N. & Rickson, R.J. 1997. A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swaziland. *Soil Technology*, 11: 291–299. [https://doi.org/10.1016/S0933-3630\(97\)00013-5](https://doi.org/10.1016/S0933-3630(97)00013-5).
- Morrow, M. 2026. *Botany lab manual*. LibreTexts. p. 341.
- Mukai, S. 2016. Gully erosion rates and analysis of determining factors: A case study from the semi-arid main Ethiopian Rift Valley. *Land Degradation and Development*, 28: 602–615. <https://doi.org/10.1002/ldr.2532>.
- Mwango, S.B., Msanya, B.M., Mtakwa, P.W., Kimaro, D.N., Deckers, J., Poesen, J., Massawe, V. & Bethuel, I. 2014. Root properties of plants used for soil erosion control in the Usambara Mountains, Tanzania. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(12): 1567–1580. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2014/12102>.
- Myneni, R.B., Nemani, R.R. & Running, S.W. 1997. Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35: 1380–1393.
- Nearing, M.A., Jetten, V.G., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., Hernandez, M., Le Bissonnais, Y., Nichols, M., Nunes, J.P., Renschler, C., Souchère, V. & Oost, K. 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena*, 131–154. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.03.007>.
- Niu, L., Hu, J., Li, P., Zhao, G. & Mu, X. 2025. The effect of vegetation restoration on erosion processes and runoff on a hillslope under simulated rainfall. *Water*, 17(16): 2411. <https://doi.org/10.3390/w17162411>.
- Nyberg, R.G., Gupta, N.K., Yella, S. & Dougherty, M. 2013. Monitoring vegetation on railway embankments: Supporting maintenance decisions. In *Proceedings of the 2013 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2013)*. p. 18.

- Odum, H.T. & Odum, B. 2003. Concepts and methods of ecological engineering. *Ecological Engineering*, 20: 339–361. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2003.08.008>.
- Ogunlela, O.A. & Makanjuola, M.B. 2000. Hydraulic roughness of some African grasses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75: 221–224. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0486>.
- Panagos, P. & Katsoyiannis, A. 2019. Soil erosion modelling: The new challenges as the result of policy developments in Europe. *Environmental Research*, 172: 470–474. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.043>.
- Parsons, A.J. & Lascelles, B. 2000. Rainfall simulation in geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(7): 679–679.
- Pellant, M., Shaver, P.L., Pyke, D.A., Herrick, J.E., Lepak, N., Riegel, G., Kachergis, E., Newingham, B.A., Toledo, D. & Busby, F.E. 2020. *Interpreting indicators of rangeland health* (Version 5, Tech. Ref. 1734-6). U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management. p. 186.
- Prosser, I.P. & Slade, C.J. 1994. Gully formation and the role of valley-floor vegetation, southeastern Australia. *Geology Society of America Bulletin*, 22(12): 1127–1130. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<1127:GFATRO>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<1127:GFATRO>2.3.CO;2).
- Reubens, B., Nyssen, J., Poesen, J., Woldekidan, H., Zenebe, A., Girmay, G., Deckers, J., Taha, N., Tewoldeberhan, S., Gebrehiwot, K., Bauer, H., Haile, M. & Muys, B. 2008. Establishment and management of woody vegetation to control gully erosion. *Tigray Livelihood Papers No. 8*, VLIR – Mekelle University IUC Programme, 35 pp. ISBN 978-90-8826-072-8.
- Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., Kiani-Harchegani, M., Younesi, H., Sadeghi, P.S., Angulo-Jaramillo, R. & Lassabatere, L. 2021. The hydrologic behavior of loess and marl soils in response to biochar and polyacrylamide mulching under laboratorial rainfall simulation conditions. *Journal of Hydrology*, 592: 125620. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125620>.
- Sadeghi, S.H.R., Kiani-Harchegani, M., Hazbavi, Z., Sadeghi, P., Angulo-Jaramillo, R., Lassabatere, L. & Younesi, H. 2020. Field measurement of effects of individual and combined application of biochar and polyacrylamide on erosion variables in loess and marl soils. *Science of the Total Environment*, 728: 138866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138866>.
- Schulze, E.D. 1982. Plant life forms and their carbon, water, and nutrient relations. In O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, & H. Ziegler (Eds.), *Encyclopedia of plant physiology* (New Series, Vol. 12B: pp. 615–676). Springer-Verlag.
- Shang, Z.H., Ma, Y.S., Long, R.J. & Ding, L.M. 2008. Effect of fencing, artificial seeding and abandonment on vegetation composition and dynamics of 'black soil land' in the headwaters of

- the Yangtze and the Yellow Rivers of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Land Degradation & Development*, 19: 554–563. <https://doi.org/10.1002/ldr.861>.
- Sheng, Y., Zhang, S., Li, L., Cao, Z. & Zhang, Y. 2025. Simulation of slope soil erosion intensity with different vegetation patterns based on cellular automata model. *Frontiers in Environmental Science*, 12: 1512973. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1512973>.
 - Singh, D., Singh, N., Singh, H., Kumawat, A., Jeet, P., Yadav, D., Gupta, A.K. & Kumar, G. 2025. Biological and mechanical measures for runoff and soil erosion control in India and beyond. *Discovery Applied Science*, 7: 693. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07287-5>.
 - Smith, L., Ruyle, G., Dyess, J., Meyer, W., Barker, S., Lane, C.B., Williams, S.M., Maynard, J.L., Bell, D., Stewart, D. & Coulloudon, A.B. 2012. *Guide to rangeland monitoring and assessment: Basic concepts for collecting, interpreting, and use of rangeland data for management planning and decisions*. Arizona Grazing Lands Conservation Association. p. 197.
 - Snelder, D.J. & Bryan, R.B. 1995. The use of rainfall simulation tests to assess the influence of vegetation density on soil loss on degraded rangelands in the Baringo District, Kenya. *Catena*, 25: 105–116. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(95\)00003-B](https://doi.org/10.1016/0341-8162(95)00003-B).
 - Talaei, R., Ardakani, A.J., Azimi, F., Bayat, R. & Parehkar, M. 2011. Influence of pasture and rainfed agriculture land uses on soil loss in Dojag-Chay subwatershed (Ardabil Province, NW Iran). *Journal of Rangeland Science*, 1(2): 153–165.
 - Turner, D.P., Acker, S.A., Means, J.E. & Garman, S.L. 2000. Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands. *Forest Ecology and Management*, 126: 61–76.
 - Ul Zaman, M., Bhat, S., Sharma, S. & Bhat, O. 2018. Methods to control soil erosion: A review. *International Journal of Pure and Applied Biosciences*, 6(2): 1114–1121. <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6462>.
 - Vanmaercke, M., Poesen, J., Mele, B.V., Demuzere, M., Bruynseels, A., Golosov, V., Bezerra, J.F.R., Bolysov, S., Dvinskih, A., Frankl, A., Fuseina, Y., Guerra, A.J.T., Haregeweyn, N., Ionita, I., Imwangana, F.M., Moeyersons, J., Moshe, I., Samani, A.N., Niacsu, L., Nyssen, J., Otsuki, Y., Radoane, M., Rysin, I., Ryzhov, Y.V. & Yermolaev, O. 2016. How fast do gully headcuts retreat? *Earth-Science Reviews*, 154: 336–355. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.009>.
 - Vijith, H. & Dodge-Wan, D. 2019. Modelling terrain erosion susceptibility of logged and regenerated forested region in northern Borneo through the analytical hierarchy process (AHP) and GIS techniques. *Geoenvironmental Disasters*, 6(1): 8. <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0124-x>.

- Wang, Z.Y., Huang, G.H., Wang, G.Q. & Gao, J. 2004. Modeling of vegetation-erosion dynamics in watershed systems. *Journal of Environmental Engineering*, 130(7): 792–800. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:7\(792\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:7(792)).
- Wang, Z., Jiao, J., Rayburg, S., Wang, Q. & Su, Y. 2016. Soil erosion resistance of “grain for green” vegetation types under extreme rainfall conditions on the Loess Plateau, China. *Catena*, 141: 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.025>.
- Wei, S., Zhang, K., Liu, C., Cen, Y. & Xia, J. 2024. Effects of different vegetation components on soil erosion and response to rainfall intensity under simulated rainfall. *Catena*, 235, 107652. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107652>.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. p. 58. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>.
- Wu, Y., Jia, G., Yu, X., Rao, H., Peng, X., Wang, Y., Wang, Y. & Wang, X. 2024. Response of soil nutrients and erodibility to slope aspect in the northern agro-pastoral ecotone, China. *SOIL*, 10: 61–75. <https://doi.org/10.5194/soil-10-61-2024>.
- Xu, X.L., Ma, K.M., Fu, B.J., Liu, W. & Song, C.J. 2009. Soil and water erosion under different plant species in a semiarid river valley, SW China: The effects of plant morphology. *Ecological Research*, 24: 37–46. <https://doi.org/10.1007/s11284-008-0479-z>.
- Xu, X.L., Ma, K.M., Fu, B.J., Song, C.J. & Liu, W. 2008. Influence of three plant species with different morphologies on water runoff and soil loss in a dry-warm river valley, SW China. *Forest Ecology and Management*, 256: 656–663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.015>.
- Xu, Y., Luo, L., Guo, W., Jin, Z., Tian, P. & Wang, W. 2024. Revegetation changes main erosion type on the gully–slope on the Chinese Loess Plateau under extreme rainfall: Reducing gully erosion and promoting shallow landslides. *Water Resources Research*, 60(3): e2023WR036307. <https://doi.org/10.1029/2023WR036307>.
- Zhang, G., Liu, G., Wang, G. & Wang, Y. 2012. Effects of patterned *Artemisia capillaris* on overland flow velocity under simulated rainfall. *Hydrological Processes*, 26(24): 3779–3787. <https://doi.org/10.1002/hyp.9338>.
- Zhang, S.Y., Zhuo, M., Xie, Z., Yuan, Z., Wang, Y., Huang, B., Liao, Y., Li, D. & Wang, Y. 2020. Effects of near soil surface components on soil erosion on steep granite red soil colluvial deposits. *Geoderma*, 365: 114203. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114203>.
- Zhang, S., Fan, W., Li, Y. & Yi, Y. 2017. The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. *Science of the Total Environment*, 574: 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.024>.

- Zhang, W., Yu, D., Shi, X., Wang, H., Gu, Z., Zhang, X. & Tam, M. 2011. The suitability of using leaf area index to quantify soil loss under vegetation cover. *Journal of Mountain Science*, 8: 564–570. <https://doi.org/10.1007/s11629-011-1121-z>.
- Zhao, Q. & Qu, Y. 2024. The retrieval of ground NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data consistent with remote-sensing observations. *Remote Sensing*, 16(7): 1212. <https://doi.org/10.3390/rs16071212>.
- Zia, M.S., Yaseen, U., Ramzan, M.T., Ahmad, Z., Chaudhary, M.U.M., Waqas, M. & Khan, M.A. 2025. Soil erosion challenges: Environmental health and sustainable agriculture solutions. *Plant Bulletin*, 4(2): 127–136. <https://doi.org/10.55627/pbulletin.004.02.1566>.
- Zuazo, V.H.D. & Pleguezuelo, C.R.R. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1): 65–86. <https://doi.org/10.1051/agro:2007062>.

Abstract

Erosion is a significant environmental problem in many regions of the country, particularly in areas with sparse vegetation cover, and limited research has addressed the combined role of above-ground and below-ground plant organs in its control. In the present manual, various methods for evaluating plant erosion-control potential are introduced, and a specific method is applied to 36 plant species in the southern region of Ardabil Province, characterized by a cold and dry climate. In this approach, plant functional traits related to erosion control were quantified using a multi-criteria framework. Initially, five key indicators were calculated for 36 native plant species. These indicators included root contribution to slope stability (Cr), based on root cross-sectional area (A_{rt}), root tensile strength (T_r), maximum breaking force (F_{max}), and root diameter (D); root effectiveness in reducing erosion under concentrated flow (RSD), based on root density (RD) and root dry mass (M_D); plant stiffness index (MEI), based on elastic modulus (E_{mod}), second moment of inertia (I), and stem diameter (d_s); stem density and resistance to hydraulic shear (SD), based on stem number per unit area (n_s) and stem geometry; and sediment obstruction capacity (SOP), based on projected above-ground area (A_r), stem length perpendicular to flow (L_b), and total plant spread (L_{tot}). These indices were used in an integrated manner to evaluate plant capacity to increase soil resistance and control erosion. Statistical results showed that mean $\pm$ standard deviation values were 0.017 ± 0.055 for SD, 0.127 ± 0.202 for SOP, 5.06 ± 11.48 for MEI, 0.343 ± 1.677 for RSD, and 2.54 ± 7.08 for Cr, indicating considerable variability in the erosion-control performance of the studied species. Each index was classified into five categories (0–4), and star diagrams were developed based on assigned scores. High scores (3 = high, 4 = very high) indicate strong capability in controlling sheet, rill, and gully erosion. Stem density (SD) ranged from 0.26% to 28%. Species such as *Acantholimon talagonicum* L. and *Festuca ovina* L. exhibited the highest stem density. These small species provide effective ground cover during spring and summer. Sediment obstruction capacity (SOP) ranged from 0.00128 to 0.988 m/m. Five species—*Verbascum thapsus* L., *Colutea persica* Boiss., *Amygdalus scoparia* Spach, *Festuca ovina* L., and *Melica altissima* L.—showed the highest ability to reduce runoff and trap sediments. Results of the plant stiffness index (MEI) indicated that species such as *Colutea persica* Boiss., *Amygdalus scoparia* Spach, *Tamarix ramosissima*, *Salsola kali* L., and *Rhus coriaria* exhibit high resistance to bending and shear forces (ranging from 5.19 to 34.626 N). Species such as *Amygdalus scoparia* Spach, *Glycyrrhiza aspera* Pall., and *Stipa pennata* L. showed high efficiency in reducing erosion under concentrated flow conditions, with RSD values ranging from 6.68×10^{-24} to 6.3×10^{-42} . Shrub and woody species including *Rhus coriaria*, *Amygdalus*

scoparia Spach, *Colutea persica* Boiss., and *Tamarix ramosissima* play an important role in slope stabilization and in controlling sheet and gully erosion due to their deep and dense root systems. In addition, herbaceous species such as *Salsola kali* L., *Festuca ovina* L., *Verbascum thapsus* L., *Melica altissima* L., and *Acantholimon talagonicum* L. contribute significantly to surface protection by reducing runoff velocity and increasing soil cohesion. Overall, the results demonstrate that the combined use of compatible native species with complementary above- and below-ground traits provides an effective and sustainable bioengineering strategy for restoring degraded lands and reducing soil erosion.

Keywords: Bioengineering, Erosion control, Gully, Indicators, Plant above-ground organs and Plant roots

پیوست‌ها: ویژگی‌های کلی گونه‌های گیاهی در تیپ‌های مرتعی منطقه

جدول پیوست ۱- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش در تیپ بروموس - شیرخشت

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	نوع ریشه	چرخه رویشی	توانایی ریشه در مهار فرسایش	توانایی اندام هوایی در مهار فرسایش
۱	Gramineae	<i>Bromus tomentellus</i> Boiss.	علف‌پشمکی	افشان	چندساله	کم	کم
۲	Fabaceae	<i>Cotoneaster nummularia</i>	شیرخشت	مورب-خزنده	چندساله	زیاد	بالا
۳	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	درمنه ارسبارانی	راست-افشان	چندساله	زیاد	متوسط
۴	Fabaceae	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	شیرین‌بیان	ذخیره‌ای	چندساله	زیاد	متوسط
۵	Fabaceae	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	تلخه	خزنده-راست	چندساله	کم	کم
۶	Umbellifera	<i>Astrodaucus orientalis</i> (L.) Drude	هویج کوهی	راست-افشان	یکساله	کم	کم
۷	Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	کاهوی وحشی	راست-افشان	یکساله	کم	کم
۸	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	خارشتر	مورب-خزنده	چندساله	زیاد	متوسط
۹	Fabaceae	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	گون علفی	افشان	چندساله	زیاد	کم
۱۰	Chenopodiaceae	<i>Salsola kali</i> L.	شور خاردار	راست با انشعابات جانبی فراوان	چندساله	زیاد	متوسط
۱۱	Compositae	<i>Centaurea virgata</i> L.	گل‌گندم بوته-ای	افشان	چندساله	کم	کم
۱۲	Graminea	<i>Hordeum vulgare</i>	جوی دوسر	افشان-خزنده	چندساله	کم	کم
۱۳	Fabaceae	<i>Sophora alopecuroides</i> L.	تلخ بیان	راست-خزنده	چندساله	زیاد	متوسط
۱۴	Gramineae	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	یولاف ریش‌دار	افشان-خزنده	یکساله	کم	متوسط
۱۵	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	گل‌گندم	افشان	یکساله	کم	کم
۱۶	Rosacea	<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	توت روباهی	راست-مقاوم	یکساله	کم	کم
۱۷	Crassullacea	<i>Sedum album</i> L.	ناز سفید	ذخیره‌ای	چندساله	کم	کم

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	نوع ریشه	چرخه رویشی	توانایی ریشه در مهار فرسایش	توانایی اندام هوایی در مهار فرسایش
۱۸	Crucifera	<i>Alyssum minus</i> (L.) Rothm.	قدومه	راست-افشان	یکساله	کم	متوسط
۱۹	Asteraceae	<i>Onopordon acanthium</i> L.	خار پنبه	راست-مقاوم	چند ساله	کم	متوسط

ادامه جدول پیوست ۱-

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی‌متر	قطر تاج پوشش گیاه به سانتی‌متر	درصد تاج پوشش گیاه در هکتار	کمینه	بیشینه	میانگین
۱	Gramineae	<i>Bromus tomentellus</i> Boiss.	علف پشمکی	۳۰-۷۰	۱۰	۳۵	۸۰	۵۷	
۲	Fabaceae	<i>Cotoneaster nummularia</i>	شیر خشت	۲۰۰-۳۰۰	۱۵۰	۳۰	۴۰	۳۵	
۳	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	درمنه ارسبارانی	۳۰	۹۰	۱۰	۲۰	۱۵	
۴	Fabaceae	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	شیرین بیان	۷۰	۵۰	۵	۲۵	۱۲	
۵	Fabaceae	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	تلخه	۳۰	۲۵	۰	۱۰	۷	
۶	Umbellifera	<i>Astrodaucus orientalis</i> (L.) Drude	هویج کوهی	۷۰	۲۰	۲	۱۰	۸	
۷	Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	کاهوی وحشی	۷۵	۴۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۸	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	خارشتر	۴۵	۷۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۹	Fabaceae	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	گون علفی	۱۵	۲۰	۵	۱۰	۶	
۱۰	Chenopodiaceae	<i>Salsola kali</i> L.	شور خاردار	۳۵	۵۰-۱۲۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۱	Compositae	<i>Centaurea virgata</i> L.	گل گندم بوته‌ای	۴۵	۶۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۲	Graminea	<i>Hordeum vulgare</i>	جوی دوسر	۶۰	۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۳	Fabaceae	<i>Sophora alopecuroides</i> L.	تلخ بیان	۵۵	۵۰	۰	۵	۴	
۱۴	Gramineae	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	یولاف ریش‌دار	۴۰	۳-۷	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی متر	قطر تاج پوشش گیاه به سانتی متر	درصد تاج پوشش گیاه در هکتار	کمینه	بیشینه	میانگین
۱۵	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	گل گندم	۴۰	۶۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	کمتر از ۵
۱۶	Rosacea	<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	توت روباهی	۷۰-۱۰	۳۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	کمتر از ۵
۱۷	Crassullacea	<i>Sedum album</i> L.	ناز سفید	۲۵	۲۰	۰	۷	۱۰	۷
۱۸	Crucifera	<i>Alyssum minus</i> (L.) Rothm.	قدومه	۱۵	۳	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	کمتر از ۵
۱۹	Asteraceae	<i>Onopordon acanthium</i> L.	خار پنبه	۳۰-۲۰۰	۴۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	کمتر از ۵

ادامه جدول پیوست ۱-

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای ^۱	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل دهی	پایان گل دهی
۱	Gramineae	<i>Bromus tomentellus</i> Boiss.	کم شونده	علفی	اردیبهشت	اواخر اردیبهشت	اواخر خرداد
۲	Fabaceae	<i>Cotanaster nummularia</i>	افزایش یابنده	بوته‌ای	نیمه دوم فروردین	اواخر خرداد ماه	مرداد ماه
۳	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	افزایش یابنده	علفی	اوایل فروردین	مرداد ماه	آبان ماه
۴	Fabaceae	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	افزایش یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۵	Fabaceae	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	مهاجم	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۶	Umbellifera	<i>Astrodaucus orientalis</i> (L.) Drude	کم شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	شهریور ماه
۷	Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	افزایش یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۸	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	افزایش یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	مرداد ماه
۹	Fabaceae	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	کم شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۱۰	Chenopodiaceae	<i>Salsola kali</i> L.	مهاجم	علفی	اوایل فروردین	مرداد ماه	مهر ماه

^۱ Forage value

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای ^۱	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل دهی	پایان گل دهی
۱۱	Compositae	<i>Centaurea virgata</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	شهریور ماه
۱۲	Graminea	<i>Hordeum vulgare</i>	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۳	Fabaceae	<i>Sophora alopecuroides</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۱۴	Gramineae	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۱۵	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۶	Rosacea	<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۷	Crassullacea	<i>Sedum album</i> L.	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۸	Crucifera	<i>Alyssum minus</i> (L.) Rothm.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۱۹	Asteraceae	<i>Onopordon acanthium</i> L.	مهاجم	علفی	اردیبهشت	اواخر خرداد ماه	اواخر مرداد ماه

جدول پیوست ۲- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش در تیپ مرتعی درمنه - استیپا

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	نوع ریشه	چرخه رویشی	توانایی ریشه در مهار فرسایش	توانایی اندام هوایی در مهار فرسایش
۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	درمنه ارسبارانی	افشان-مقاوم	چندساله	زیاد	متوسط
۲	Graminae	<i>Stipa pennata</i> L. subsp. <i>Zalesskii</i> (Wilensky) Freitag	استیپی دائمی	افشان-خزنده	چندساله	زیاد	متوسط
۳	Hypericaceae	<i>Hypericum scabrum</i> L.	علف چای	راست-خزنده	چندساله	زیاد	کم
۴	Asteraceae	<i>Xanthium spinosum</i> L.	زردینه خاردار	راست-مقاوم	یکساله	کم	کم
۵	Compositae	<i>Centaurea virgata</i> L.	گل گندم بوته‌ای	افشان	چندساله	کم	کم
۶	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	علف بره	افشان	چندساله	زیاد	کم
۷	Fabaceae	<i>Astragalus podocarpus</i> C. A. Mey.	گون علفی گل بنفش	راست-خزنده	چندساله	زیاد	کم
۸	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	گل گندم	افشان	یکساله	کم	کم
۹	Compositae	<i>Artemisia incana</i> (L.) Druce	درمنه خاکستری	افشان	چندساله	زیاد	متوسط
۱۰	Cariophyllaceae	<i>Dianthus armeria</i> L.	میخک جنگلی	افشان	چندساله	کم	کم
۱۱	Poaceae	<i>Aegilops cylindrica</i> Host	گندم نیای استوانه-ای	افشان	چندساله	کم	کم
۱۲	Compositae	<i>Nigella arvensis</i> L.	سیاه دانه	افشان	یکساله	کم	کم
۱۳	Fabacea	<i>Vicia cracca</i> L.	ماشک کلاغی	افشان-خزنده	یکساله	متوسط	متوسط
۱۴	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	شیرسگ	خزنده-مقاوم	چندساله	کم	کم
۱۵	Lamiacea	<i>Satureja sahendica</i> Bornm.	مرزه سهندی	خزنده-مقاوم	چندساله	کم	متوسط
۱۶	Coprifoliaceae	<i>Scabiosa persica</i> Boiss. var. <i>persica</i>	طوسک ایرانی	افشان	یکساله	کم	کم

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	نوع ریشه	چرخه رویشی	توانایی ریشه در مهار فرسایش	توانایی اندام هوایی در مهار فرسایش
۱۷	Ranunculacea	<i>Ranunculus arvensis</i> L.	الاله سفید	افشان	یکساله	کم	کم
۱۸	Labiata	<i>Phlomis olivier</i> L.	گوش بره	خزنده-راست	چندساله	زیاد	بالا
۱۹	Crassullacea	<i>Scutellaria platystegia</i> Juz.	قاشقی	ذخیره‌ای	یکساله	متوسط	متوسط
۲۰	Linacea	<i>Linum nodiflorum</i> L.	کتان گل گره‌ای	راست-مقاوم	یکساله	کم	کم
۲۱	Labiata	<i>Teucrium polium</i> L.	مریم نخودی	خزنده	چندساله	متوسط	متوسط
۲۲	Labiata	<i>Nepeta pungens</i> (Bunge) Benth.	پونه سای نیش‌دار	خزنده	چندساله	متوسط	متوسط
۲۳	Crassullacea	<i>Sedum album</i> L.	ناز سفید	ذخیره‌ای	چندساله	کم	کم
۲۴	Fabacea	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv. ssp. <i>cornuta</i>	اسپرس کوهی	خزنده	چندساله	زیاد	بالا
۲۵	Gramineae	<i>Bromus tomentellus</i> Boiss.	علف پشمکی	افشان	چندساله	زیاد	متوسط
۲۶	Compositae	<i>Achillea nobilis</i> L. subsp. <i>neilreichii</i> (Kerner) Formanek	بومادران تماشائی	افشان	چند ساله	متوسط	متوسط
۲۷	Compositae	<i>Achillea biebersteinii</i> Afan	بومادران زرد	افشان	چند ساله	متوسط	متوسط
۲۸	Rubiaceae	<i>Galium verum</i> L.	شیر پنیر	خزنده	چند ساله	کم	متوسط

ادامه جدول پیوست ۲-

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی‌متر	قطر تاج پوشش گیاه به سانتی متر	درصد تاج پوشش گیاه در هکتار	کمینه	بیشینه	میانگین
۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	درمنه ارسبارانی	۳۰	۲۰	۵	۶۰	۳۷	
۲	Graminae	<i>Stipa pennata</i> L. subsp. <i>Zalesskii</i> (Wilensky) Freitag	استیپی دائمی	۴۵	۶۵	۵	۵۵	۳۵	
۳	Hypericaceae	<i>Hypericum scabrum</i> L.	علف چای	۳۰	۲۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۴	Asteraceae	<i>Xanthium spinosum</i> L.	زردینه خاردار	۴۰	۴۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۵	Compositae	<i>Centaurea virgata</i> L.	گل گندم بوته‌ای	۴۵	۶۰	۰	۴۰	۱۵	
۶	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	علف بره	۵۰	۳۰	۰	۳۰	۱۰	
۷	Fabaceae	<i>Astragalus podocarpus</i> C. A. Mey.	گون علفی گل بنفش	۳۰	۲۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۸	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	گل گندم	۴۰	۶۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۹	Compositae	<i>Artemisia incana</i> (L.) Druce	درمنه خاکستری	۴۰	۷۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۰	Cariophyllaceae	<i>Dianthus armeria</i> L.	میخک جنگلی	۳۵	۲۵	۰	۲۵	۱۴	
۱۱	Poaceae	<i>Aegilops cylindrica</i> Host	گندم نیای استوانه- ای	۴۰	۱۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۲	Compositae	<i>Nigella arvensis</i> L.	سیاه دانه	۲۵	۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۳	Fabacea	<i>Vicia cracca</i> L.	ماشک کلاغی	۲۵	۳۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۴	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	شیرسگ	۳۵	۱۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۵	Lamiaceae	<i>Satureja sahendica</i> Bornm.	مرزه سهندی	۴۵	۴۰	۵	۱۵	۱۲	
۱۶	Coprifoliaceae	<i>Scabiosa persica</i> Boiss. var. <i>persica</i>	طوسک ایرانی	۳۵	۴۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۷	Ranunculaceae	<i>Ranunculus arvensis</i> L.	الاله سفید	۳۵	۱۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۱۸	Labiata	<i>Phlomis olivier</i> L.	گوش بره	۴۰	۳۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی‌متر	قطر تاج پوشش گیاه به سانتی متر	درصد تاج پوشش گیاه در هکتار	کمینه	بیشینه	میانگین
۱۹	Crassullacea	<i>Scutellaria platystegia</i> Juz.	قاشقی	۲۵	۴۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۲۰	Linacea	<i>Linum nodiflorum</i> L.	کتان گل گره‌ای	۳۰	۱۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۲۱	Labiata	<i>Teucrium polium</i> L.	مریم نخودی	۲۰	۱۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۲۲	Labiata	<i>Nepeta pungens</i> (Bunge) Benth.	پونه سای نیش‌دار	۳۰	۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۲۳	Crassullacea	<i>Sedum album</i> L.	ناز سفید	۲۵	۲۰	۰	۲۵	۴۰	۲۵
۲۴	Fabacea	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv. ssp. <i>cornuta</i>	اسپرس کوهی	۴۰	۴۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۲۵	Gramineae	<i>Bromus tomentellus</i> Boiss.	علف پشمکی	۳۰-۷۰	۱۲	۰	۴	۱۰	۴
۲۶	Compositae	<i>Achillea nobilis</i> L. subsp. <i>neilreichii</i> (Kerner) Formanek	بومادران تماشائی	۳۰-۸۰	۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۲۷	Compositae	<i>Achillea biebersteinii</i> Afan	بومادران زرد	۳۰-۸۰	۱۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۲۸	Rubiaceae	<i>Galium verum</i> L.	شیر پنیر	۵۰	۴۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵

ادامه جدول پیوست ۲-

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل‌دهی	پایان گل‌دهی
۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	مرداد ماه	آبان ماه
۲	Graminae	<i>Stipa pennata</i> L. subsp. <i>Zalesskii</i> (Wilensky) Freitag	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل‌دهی	پایان گل‌دهی
۳	Hypericaceae	<i>Hypericum scabrum</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۴	Asteraceae	<i>Xanthium spinosum</i> L.	مهاجم	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	تیر ماه
۵	Compositae	<i>Centaurea virgata</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	شهریور ماه
۶	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۷	Fabaceae	<i>Astragalus podocarpus</i> C. A. Mey.	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	تیر ماه
۸	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۹	Compositae	<i>Artemisia incana</i> (L.) Druce	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	مرداد ماه	مهر ماه
۱۰	Cariophyllaceae	<i>Dianthus armeria</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۱	Poaceae	<i>Aegilops cylindrica</i> Host	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	تیر ماه
۱۲	Compositae	<i>Nigella arvensis</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اواخر فروردین ماه	خرداد ماه
۱۳	Fabacea	<i>Vicia cracca</i> L.	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل‌دهی	پایان گل‌دهی
۱۴	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۵	Lamiaceae	<i>Satureja sahendica</i> Bornm.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۱۶	Coprifoliaceae	<i>Scabiosa persica</i> Boiss. var. <i>persica</i>	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۱۷	Ranunculaceae	<i>Ranunculus arvensis</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	فروردین ماه	اردیبهشت ماه
۱۸	Labiatae	<i>Phlomis olivier</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۹	Crassullaceae	<i>Scutellaria platystegia</i> Juz.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۲۰	Linaceae	<i>Linum nodiflorum</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۲۱	Labiatae	<i>Teucrium polium</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۲۲	Labiatae	<i>Nepeta pungens</i> (Bunge) Benth.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۲۳	Crassullaceae	<i>Sedum album</i> L.	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۲۴	Fabaceae	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv. ssp. <i>cornuta</i>	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	تیر ماه
۲۵	Gramineae	<i>Bromus tomentellus</i> Boiss.	کم‌شونده	علفی	اردیبهشت	اواخر اردیبهشت	اواخر خرداد

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل‌دهی	پایان گل‌دهی
۲۶	Compositae	<i>Achillea nobilis</i> L. subsp. <i>neilreichii</i> (Kerner) Formanek	مهاجم	علفی	اواخر فروردین	اواخر اردیبهشت	اواخر تیرماه
۲۷	Compositae	<i>Achillea biebersteinii</i> Afan	مهاجم	علفی	اواخر فروردین	اواخر اردیبهشت	اواخر تیرماه
۲۸	Rubiaceae	<i>Galium verum</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	فروردین ماه	خردادماه	مردادماه

جدول پیوست ۳- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش در تیپ مرتعی فستوکا - درمنه

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	نوع ریشه	چرخه رویشی	توانایی ریشه در مهار فرسایش	توانایی اندام هوایی در مهار فرسایش
۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	درمنه ارسبارانی	راست-مقاوم	چندساله	زیاد	متوسط
۲	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	خارشتر	مورب-خزنده	چندساله	زیاد	متوسط
۳	Asteraceae	<i>Xanthium spinosum</i> L.	زردینه خاردار	راست-مقاوم	یکساله	کم	کم
۴	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	علف بره	افشان	چندساله	زیاد	کم

ادامه جدول پیوست ۳-

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی متر	قطر تاج پوشش گیاه به سانتی متر	درصد تاج پوشش گیاه در هکتار		
						کمینه	بیشینه	میانگین
۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	درمنه ارسبارانی	۲۵	۱۵	۱۰	۳۵	۲۵
۲	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	خارشتر	۵۰	۶۰	۵	۲۰	۱۵
۳	Asteraceae	<i>Xanthium spinosum</i> L.	زردینه خاردار	۵۵	۴۰	۰	۱۵	۱۰
۴	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	علف بره	۴۰	۲۰	۵	۴۰	۳۰

ادامه جدول پیوست ۳-

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل‌دهی	پایان گل‌دهی
۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	مرداد ماه	آبان ماه

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل‌دهی	پایان گل‌دهی
۲	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	مرداد ماه
۳	Asteraceae	<i>Xanthium spinosum</i> L.	مهاجم	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	تیر ماه
۴	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه

جدول پیوست ۴- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش در تیپ مرتعی گون - فستوکا

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	نوع ریشه	چرخه رویشی	توانایی ریشه در مهار فرسایش	توانایی اندام هوایی در مهار فرسایش
۱	Scrophulariaceae	<i>Verbascum thapsus</i> L.	گل ماهور	افشان	چندساله	زیاد	کم
۲	Fabaceae	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	گون علفی	افشان	چندساله	زیاد	کم
۳	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	علف بره	افشان	چندساله	زیاد	کم
۴	Fabaceae	<i>Astragalus podocarpus</i> C. A. Mey.	گون علفی گل بنفش	راست-خزنده	چندساله	زیاد	کم
۵	Gramineae	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	یولاف ریش‌دار	افشان	یکساله	کم	متوسط
۶	Compositae	<i>Artemisia fragrans</i> Willd.	درمنه معطر	افشان	چندساله	زیاد	بالا
۷	Cariophyllaceae	<i>Dianthus armeria</i> L.	میخک جنگلی	افشان	چندساله	کم	کم
۸	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	شیرسگ بوته‌ای	خزنده	چندساله	کم	کم
۹	Poacea	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	چچم شکننده	افشان	چندساله	کم	کم
۱۰	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia stricta</i> L.	شیرسگ راست	خزنده	چندساله	کم	متوسط
۱۱	Cruciferae	<i>Arabis nepetifolia</i> Boiss.	رشاد خوش ییلاقی	افشان	چند ساله	کم	کم

ادامه جدول پیوست ۴-

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی متر	قطر تاج‌پوشش گیاه به سانتی متر	درصد تاج‌پوشش گیاه در هکتار	کمینه	بیشینه	میانگین
۱	Scrophulariaceae	<i>Verbascum thapsus</i> L.	گل ماهور	۱۲۰	۴۰	۷	۲۰	۱۵	
۲	Fabaceae	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	گون علفی	۱۵	۲۵	۱۰	۳۰	۲۵	
۳	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	علف بره	۴۵	۳۰	۲۰	۳۵	۳۰	
۴	Fabaceae	<i>Astragalus podocarpus</i> C. A. Mey.	گون علفی گل بنفش	۳۰	۲۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۵	Gramineae	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	یولاف ریش‌دار	۳۰	۵	۵	۲۰	۱۵	

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی متر	قطر تاج پوشش گیاه به سانتی متر	درصد تاج پوشش گیاه در هکتار	کمینه	بیشینه	میانگین
۶	Compositae	<i>Artemisia fragrans</i> Willd.	درمنه معطر	۴۰	۱۰	۰	۲۰	۱۰	۱۰
۷	Cariophyllaceae	<i>Dianthus armeria</i> L.	میخک جنگلی	۳۵	۳۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۸	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	شیرسگ بوته‌ای	۳۵	۱۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۹	Poaceae	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	چچم شکننده	۴۰	۲	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵
۱۰	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia stricta</i> L.	شیرسگ راست	۳۵	۱۰	۵	۱۰	۶	۶
۱۱	Cruciferae	<i>Arabis nepetifolia</i> Boiss.	رشاد خوش بیلاقی	۲۰-۳۰	۸	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۵

ادامه جدول پیوست ۴-

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل دهی	پایان گل دهی
۱	Scrophulariaceae	<i>Verbascum thapsus</i> L.	مهاجم	بوته‌ای	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	مرداد ماه
۲	Fabaceae	<i>Astragalus basilicus</i> Maassoumi & Podlech	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۳	Graminae	<i>Festuca heterophylla</i> Lam.	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۴	Fabaceae	<i>Astragalus podocarpus</i> C. A. Mey.	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	تیر ماه
۵	Gramineae	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۶	Compositae	<i>Artemisia fragrans</i> Willd.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	مرداد ماه	مهر ماه
۷	Cariophyllaceae	<i>Dianthus armeria</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۸	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۹	Poaceae	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	تیر ماه
۱۰	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia stricta</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۱	Cruciferae	<i>Arabis nepetifolia</i> Boiss.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اردیبهشت	خرداد	مردادماه

جدول پیوست ۵- گونه‌های گیاهی، شکل زیستی، فرم رویشی، نوع ریشه، درصد تاج‌پوشش گیاهی، فنولوژی و توانایی گونه‌ها در مهار فرسایش که در تمام تیپ‌های مرتعی منطقه پراکنش نشان می‌دهند

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	نوع ریشه	چرخه رویشی	توانایی ریشه در مهار فرسایش	توانایی اندام هوایی در مهار فرسایش
۱	Compositae	<i>Carthamus tinctorium</i> L.	گلرنگ	افشان	یکساله	کم	کم
۲	Polombojinaceae	<i>Acantholimon talaganicum</i> L.	کلاه میرحسن	خزنده	چندساله	زیاد	متوسط
۳	Astraceae	<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	علف جارو	راست-مقاوم	یکساله	کم	کم
۴	Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i> L.	ترشک	افشان	یکساله	متوسط	کم
۵	Compositae	<i>Cirsium osseticum</i> L.	کنگر واژگون کرک-دار	افشان	چندساله	زیاد	متوسط
۶	Legomimos	<i>Tanacetum balsamitha</i> L. subsp. <i>balsamithades</i> (Bip.)	شاه افسر	خزنده	چندساله	زیاد	کم
۷	Fabaceae	<i>Colutea persica</i> Boiss.	دغدغک	راست-خزنده	چندساله	زیاد	متوسط
۸	Papilionaceae	<i>Amygdalus scoparia</i> Spach.	بادام کوهی	راست-خزنده	چندساله	زیاد	متوسط
۹	Fabaceae	<i>Sophora alopecuroides</i> L.	تلخه بیان	راست-خزنده	چندساله	زیاد	کم
۱۰	Scrophulariaceae	<i>Verbascum thapsus</i> L.	گل ماهور	افشان	چندساله	زیاد	کم
۱۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	درمنه ارسبارانی	راست-افشان	چندساله	زیاد	متوسط
۱۲	Fabaceae	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	شیرین بیان	ذخیره‌ای	چندساله	زیاد	متوسط
۱۳	Fabaceae	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	تلخه	خزنده-راست	چندساله	کم	کم
۱۴	Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	کاهوی وحشی	راست-افشان	یکساله	کم	کم

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	نوع ریشه	چرخه رویشی	توانایی ریشه در مهاری فرسایش	توانایی اندام هوایی در مهاری فرسایش
۱۵	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	خارشتر	مورب-خزنده	چندساله	زیاد	متوسط
۱۶	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	سنتوریا دیپر	افشان	یکساله	کم	کم
۱۷	Rhamnaceae	<i>Paliurus spina-christi</i> Miller	سیاه تلو	راست	چند ساله	زیاد	زیاد
۱۸	Graminae	<i>Stipa pennata</i> L. subsp. <i>Zalesskii</i> (Wilensky) Freitag	استیپی دائمی	افشان-خزنده	چندساله	زیاد	کم
۱۹	Hypericaceae	<i>Hypericum scabrum</i> L.	علف چای	راست-خزنده	چندساله	زیاد	کم
۲۰	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	شیرسگ	خزنده	چندساله	کم	کم
۲۱	Lamiaceae	<i>Satureja sahendica</i> Bornm.	مرزه سهندی	خزنده-مقاوم	چندساله	کم	متوسط

ادامه پیوست ۵-

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی متر	قطر تاج گیاه به سانتی متر	کمینه	بیشینه	میانگین	درصد تاج پوشش گیاه در هکتار
۱	Compositae	<i>Carthamus tinctorium</i> L.	گلرنگ	۷۰	۶۰	۰	۱۸	۱۰	
۲	Polombojinaceae	<i>Acantholimon talaganicum</i> L.	کلاه میرحسن	۲۵	۶۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۳	Astraceae	<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	علف جارو	۳۵	۴۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۴	Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i> L.	ترشک	۴۰	۱۰۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	
۵	Compositae	<i>Cirsium osseticum</i> L.	کنگر واژگون کرکدار	۱۰۰	۵۵	۰	۱۰	کمتر از ۵	

ردیف	خانواده	گونه	نام فارسی	ارتفاع بوته به سانتی متر	قطر تاج گیاه به سانتی متر	درصد تاج پوشش گیاه در هکتار	میانگین	بیشینه	کمینه
۶	Leguminos	<i>Tanacetum balsamitha</i> L. subsp. <i>balsamithades</i> Bip.	شاه افسر	۲۲۰	۱۳۰	۰	۱۵	۱۰	۰
۷	Fabaceae	<i>Colutea persica</i> Boiss.	دغدغک	۲۰۰-۳۰۰	۲۷۰	۰	۵	کمتر از ۵	۰
۸	Papilionaceae	<i>Amygdalus scoparia</i> Spach.	بادام کوهی	۵۵	۱۴۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۰
۹	Fabaceae	<i>Sophora alopecuroides</i> L.	تلخه بیان	۶۵	۴۵	۰	۵	کمتر از ۵	۰
۱۰	Scrophulariaceae	<i>Verbascum thapsus</i> L.	گل ماهور	۱۲۰	۳۵	۰	۲۰	۱۰	۰
۱۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	درمنه	۳۰	۲۰	۰	۶۰	۲۵	۰
۱۲	Fabaceae	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	شیرین بیان	۷۰	۵۵	۰	۲۵	۱۰	۰
۱۳	Fabaceae	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	تلخه	۴۰	۲۵	۰	۱۰	کمتر از ۵	۰
۱۴	Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	کاهوی وحشی	۷۵	۴۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۰
۱۵	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	خارشتر	۵۰	۵۰	۰	۲۰	کمتر از ۵	۰
۱۶	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	سنتوریا دیپر	۴۰	۶۵	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۰
۱۷	Rhamnaceae	<i>Paliurus spina-christi</i> Miller	سیاه تلو	۲۰۰-۳۰۰	۴۵۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۰
۱۸	Graminae	<i>Stipa pennata</i> L. subsp. <i>Zalesskii</i> (Wilensky) Freitag	استپی دائمی	۴۰	۶۵	۰	۵۵	۱۵	۰
۱۹	Hypericaceae	<i>Hypericum scabrum</i> L.	علف چای	۳۸	۲۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۰
۲۰	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	شیرسگ	۶۵	۶۰	۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵	۰
۲۱	Lamiacea	<i>Satureja sahendica</i> Bornm.	مرزه سهندی	۴۵	۴۰	۰	۱۵	۵	۰

ادامه پیوست ۵-

ردیف	خانواده	گونه	ارزش علوفه‌ای	فرم رویشی	شروع رویش	شروع گل‌دهی	پایان گل‌دهی
۱	Compositae	<i>Carthamus tinctorium</i> L.	مهاجم	بوته‌ای	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۲	Polombojinaceae	<i>Acantholimon talaganicum</i> L.	مهاجم	بوته‌ای	نیمه دوم فروردین	اردیبهشت ماه	مرداد ماه
۳	Astraceae	<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	مرداد ماه
۴	Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۵	Compositae	<i>Cirsium oesticum</i> L.	افزایش‌یابنده	بوته‌ای	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۶	Legominos	<i>(Tanacetum balsamitha</i> L. subsp. <i>balsamithades</i> Bip.)	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۷	Fabaceae	<i>Colutea persica</i> Boiss.	افزایش‌یابنده ضعیف	درختچه	اوایل فروردین	خرداد ماه	شهریور ماه
۸	Papilionaceae	<i>Amygdalus scoparia</i> Spach.	مهاجم	درختچه	نیمه دوم فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۹	Fabaceae	<i>Sophora alopecuroides</i> L.	مهاجم	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۱۰	Scrophulariaceae	<i>Verbascum thapsus</i> L.	مهاجم	بوته‌ای	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	مرداد ماه
۱۱	Astraceae	<i>Artemisia marschalliana</i> Sprengel	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	مرداد ماه	آبان ماه
۱۲	Fabaceae	<i>Glycyrrhiza aspera</i> Pall.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۳	Fabaceae	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC.	مهاجم	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۱۴	Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه
۱۵	Fabaceae	<i>Alhagi pseudalhagi</i> (M.B.) Desv.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	مرداد ماه
۱۶	Graminae	<i>Centaurea depressa</i> L.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۷	Rhamnaceae	<i>Paliurus spina-christi</i> Miller	مهاجم	درختچه ای	اوایل فروردین	اواسط فروردین	اواخر اردیبهشت
۱۸	Graminae	<i>Stipa pennata</i> L. subsp. <i>Zalesskii</i> (Wilensky) Freitag	کم‌شونده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۱۹	Hypericaceae	<i>Hypericum scabrum</i> L.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	خرداد ماه
۲۰	Euphurbiacea	<i>Euphorbia ieriana</i> Boiss. (Woron.) Prokh.	افزایش‌یابنده ضعیف	علفی	اوایل فروردین	اردیبهشت ماه	تیر ماه
۲۱	Lamiacea	<i>Satureja sahendica</i> Bornm.	افزایش‌یابنده	علفی	اوایل فروردین	خرداد ماه	مرداد ماه

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Title: Quantitative Assessment of Native Plant Species' Potential for Erosion Control (Case Study: South of Ardabil Province)

Author: Reza Talaei

Editor: Saeed Nabipay Lashkarian

Page Layout: Abbas Seddigh

Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Circulation: 10 Copies

Publication Date: Summer 2026

This work was registered on **2026-07-25** under registration number **69670** at the Agricultural Scientific Information and Documentation Center. All rights reserved. Reproduction of text, images, tables, curves, and charts is permitted with proper citation of the source.

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Technical Handbook:
Quantitative Assessment of Native Plant Species' Potential for Erosion Control
(Case Study: South of Ardabil Province)

Author:
Reza Talaei

Series Number: 69670

2026



Ministry of Agriculture Jihad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute



Technical Handbook

Quantitative Assessment of Native Plant Species' Potential for Erosion Control (Case Study: South of Ardabil Province)

Author:
Reza Talaei

Series Number: 69670

2026